ALBERT EINSTEIN

ALBERT EINSTEIN

CUM VĂD EU LUMEA

Teoria relativităţii pe înţelesul tuturor

Autoportret.

Noi nu ştim ce este esenţial în propria existenţă personală, iar altuia nu trebuie să-l pese de asta. Ce ştie un peşte despre apă în care înoată întreaga lui viaţă?

Ceea ce a fost amar şi dulce a venit din afară, ceea ce a fost greu dinăuntru, din străduinţa proprie. Am făcut, în principal, ceea ce propria mea natură m-a împins să fac. A fost penibil să primesc pentru aceasta atât de multă preţuire şi dragoste. Şi săgeţi ale urii au fost ţintite spre mine: ele nu m-au atins însă nicicând, deoarece aparţineau întru câtva unei alte lumi şi cu aceasta nu am nici o legătură.

Trăiesc într-o singurătate care este dureroasă în tinereţe, dar minunată în anii maturităţii.

I CUNOAŞTEREA NATURII: PRINCIPII ŞI EVOLUŢIE ISTORICĂ

DISCURS DE RECEPŢIE LA ACADEMIA PRUSACĂ DE ŞTIINŢE

Mult stimaţi colegi, Primiţi mai întâi mulţumirile mele profunde pentru fapta dumneavoastră bună, cea mai mare binefacere de care se poate bucura un om ca mine. Invitându-mă în Academia dumneavoastră, mi-aţi oferit posibilitatea să mă dedic cu totul cercetărilor ştiinţifice, eliberat de agitaţia şi grijile unei profesiuni practice. Vă rog să rămâneţi convinşi de sentimentele mele de recunoştinţă şi de sârguinţa strădaniilor mele, chiar şi atunci când roadele eforturilor mele vi se vor părea sărăcăcioase.

Îngăduiţi-mi să adaug la toate acestea câteva observaţii generale cu privire la locul pe care îl ocupă domeniul meu de activitate, fizica teoretică, în raport cu fizică experimentală. Un prieten matematician îmi spunea deunăzi jumătate în glumă, jumătate în serios: „Matematicianul ştie desigur ceva, dar, fără îndoială, nu ştie tocmai ceea ce i se cere în momentul respectiv. „Exact la fel stau lucrurile cu fizicianul teoretician atunci când este solicitat de fizicianul experimentator. De unde vine această curioasă lipsă a capacităţii de adaptare?

Metoda teoreticianului implică faptul că el are nevoie de supoziţii generale, numite principii, din care sunt deduse consecinţe. Aşadar, activitatea sa se divide în două părţi. În primul rând, el trebuie să caute aceste principii şi, în al doilea rând, să desfăşoare consecinţele ce decurg din principii. Pentru îndeplinirea celei de-a două dintre sarcinile numite, el primeşte în şcoală un echipament potrivit. Dacă prima dintre sarcinile sale este deja îndeplinită într-un anumit domeniu, adică pentru un complex de corelaţii, succesul nu-l va ocoli de câte ori silinţa şi raţiunea vor fi îndestulătoare. Prima dintre sarcinile numite, anume aceea de a căuta principiile ce urmează să servească drept bază a deducţiei, este cu totul de alt fel. Aici nu mai există o metodă ce poate fi învăţată şi aplicată sistematic, o metodă care conduce la ţel. Cercetătorul trebuie mai degrabă să fure oarecum naturii acele principii generale ce pot fi stabilite în mod precis, în măsura în care el desluşeşte anumite trăsături generale în complexe mai mari de fapte ale experienţei.

O dată ce această formulare a fost înfăptuită, începe dezvoltarea consecinţelor care furnizează adesea corelaţii nebănuite, ce depăşesc cu mult domeniul de fapte luat în considerare când au fost formulate principiile. Dar atâta timp cât principiile ce servesc drept bază a deducţiei nu au fost încă găsite, teoreticianului nu-l foloseşte faptul de experienţă singular; el nu poate să facă nimic nici măcar cu

regularităţi mai generale descoperite empiric. El trebuie mai degrabă să rămână într-o stare de neputinţă în faţa rezultatelor cercetării empirice până când ajunge în posesia principiilor care pot forma baza unor dezvoltări deductive. [1]

Aceasta este situaţia în care se află astăzi teoria în raport cu legile radiaţiei termice şi ale mişcării moleculare la temperaturi joase. Până acum vreo cincisprezece ani nu se punea încă la îndoială posibilitatea unei reprezentări corecte a însuşirilor electrice, optice şi termice ale corpurilor pe baza mecanicii galileo-newtoniene aplicate mişcărilor moleculare şi a teoriei maxwelliene a câmpului electromagnetic. Atunci Planck a arătat că, pentru formularea unei legi a radiaţiei termice, care să fie în acord cu experienţa, trebuie să ne folosim de o metodă de calcul a cărei incompatibilitate cu principiile mecanicii clasice a devenit tot mai clară. Cu această metodă de calcul, Planck a introdus aşa-numita ipoteză a cuantelor în fizică, ce a cunoscut de atunci confirmări strălucite. Cu această ipoteză a cuantelor el a răsturnat mecanica clasică pentru cazul în care mase destul de mici, cu viteze destul de mici, sunt mişcate cu acceleraţii destul de mari, astfel încât astăzi putem considera legile de mişcare formulate de Galilei şi Newton drept valabile numai că legi limită (Grenzgesetze).2 Dar, în ciuda străduinţelor pline de zel ale teoreticienilor, nu s-a izbutit până acum să se înlocuiască principiile mecanicii prin principii ce sunt în acord cu legea radiaţiei termice a lui Planck, adică cu ipoteza cuantelor. Deşi reducerea căldurii la mişcarea moleculară a fost dovedită în mod neîndoielnic, trebuie şi astăzi să mărturisim că stăm în faţa legilor fundamentale ale acestei mişcări într-un mod asemănător cu felul în care stăteau astronomii dinaintea lui Newton în faţa mişcărilor planetelor. [3]

M-am referit la un complex de fapte pentru a căror tratare teoretică lipsesc principiile. Se poate însă tot aşa de bine ca

principii clar formulate să ducă la consecinţe ce ies cu totul sau aproape cu totul din cadrul domeniului de fapte accesibil astăzi experienţei noastre. În aceste cazuri se poate să fie necesară o muncă de cercetare empirică îndelungată pentru a afla dacă principiile teoriei corespund sau nu realităţii.4 Teoria relativităţii ne oferă un asemenea caz. [5]

O analiză a conceptelor fundamentale de timp şi spaţiu ne-a arătat că enunţul constanţei vitezei luminii în vid, ce rezultă din optica corpurilor în mişcare, nu ne constrânge câtuşi de puţin să acceptăm teoria unui eter luminos imobil. Mai degrabă se poate formula o teorie generală ce ţine seama de împrejurarea că noi nu înregistrăm câtuşi de puţin mişcarea de translaţie a Pământului în experimentele realizate pe Pământ. În acest caz aplicăm principiul relativităţii care sună astfel: forma legilor naturii nu se schimbă când se trece de la sistemul de coordonate iniţial (recunoscut ca legitim) la unul nou, ce se află într-o mişcare de translaţie uniformă faţă de primul. Această teorie a primit confirmări empirice ce merită să fie amintite şi a condus la o simplificare a descrierii teoretice a complexului de fapte care erau puse deja în relaţie.

Pe de altă parte, această teorie nu oferă din punct de vedere teoretic o satisfacţie deplină, deoarece principiul relativităţii formulat mai înainte privilegiază mişcarea uniformă. Dacă este adevărat că nu suntem îndreptăţiţi să acordăm mişcării uniforme o semnificaţie absolută din punct de vedere fizic, atunci se pune în mod firesc întrebarea dacă acest enunţ nu ar trebui extins asupra mişcărilor neuniforme. S-a arătat că, dacă se pune la bază un principiu al relativităţii în acest sens extins, se ajunge la o extindere bine determinată a teoriei relativităţii. În felul acesta suntem conduşi la o teorie generală a gravitaţiei care include dinamică. Deocamdată însă lipseşte materialul faptic cu ajutorul căruia am putea verifica justeţea introducerii acestui principiu de bază.

Am constatat că fizica inductivă pune întrebări celei deductive şi cea deductivă celei inductive şi că răspunsul la ele cere încordarea tuturor forţelor. Fie că, prin muncă unită, să izbutim cât mai repede să înaintăm spre progrese definitive.

NOTE.

Se întâmpla ca să-l vină cuiva o idee nouă fie o temă muzicală, fie un conflict dramatic sau o teorie ştiinţifică interesează psihologia empirică şi nu logica cunoaşterii. „(K. R. Popper, Logica cercetării, Editura ştiinţifică şi enciclopedică, 1981 p. 76) Iată şi exprimările foarte semnificative ale lui Carnap dintr-o lucrare bazată pe seminarul său de filozofie a ştiinţelor naturii de la Universitatea din Chicago, din 1946: „Cum putem să descoperim legi teoretice? Nu putem să spunem: «Vom aduna tot mai multe date şi vom generaliza dincolo de legile empirice, până vom ajunge la legi teoretice.» Niciodată nu a fost găsită o lege teoretică pe o asemenea cale. o teorie trebuie să ia naştere pe o altă cale. Ea este formulată nu ca generalizare a faptelor, ci ca ipoteză. Ipoteză este apoi testată într-un fel care este într-o anumită privinţă analog cu testarea legilor empirice. Din ipoteză se derivă legi empirice, iar aceste legi empirice sunt la rândul lor testate prin observaţii asupra faptelor. „(R. Carnap, Einführung În die Philosophie der Naturwissenschaft, Nynphenburger Verlagshandlung, München, 1969 p. 230)

Un text scris peste aproximativ douăzeci de ani, Einstein se va exprima astfel în această privinţă: „Experienţa ne poate sugera bineînţeles conceptele matematice necesare: dar acestea nu pot fi deduse din ea. Experienţa rămâne, desigur, singurul criteriu al utilităţii unei construcţii matematice pentru fizică. Principiul propriu-zis creator se află însă în matematică. Într-un anumit sens, consider aşadar adevărat faptul că gândirea pură poate să cuprindă realul, aşa cum visau anticii. „

ERNST MACH.

În aceste zile a plecat dintre noi Emst Mach, un om cu o mare înrâurire asupra orientării epistemologice a cercetătorilor naturii din vremea noastră, un om cu o gândire extrem de independentă. Era într-atât de stăpânit de plăcerea directă de a vedea şi de a înţelege, de acel amor dei intellectualis al lui Spinoza, încât, până la o vârstă înaintată, el a privit lumea cu ochi curioşi de copil pentru a se bucura dezinteresat de înţelegerea corelaţiilor.

Cum ajunge însă un cercetător al naturii cu adevărat înzestrat să se intereseze de teoria cunoaşterii? Nu există oare în domeniul său de activitate ceva mai important de făcut? Astfel îi aud uneori vorbind pe unii dintre colegii mei de breaslă şi mai mulţi sunt cei pe care îi simt că gândesc aşa. Eu nu pot să împărtăşesc acest fel de a gândi. Când mă gândesc la cei mai capabili studenţi pe care i-am întâlnit eu ca profesor, adică la aceia care s-au evidenţiat prin independenţa judecăţii lor şi nu prin iscusinţă, constat că se preocupau în modul cel mai activ de teoria cunoaşterii. Ei discutau cu plăcere despre ţelurile şi metodele ştiinţei şi, prin îndârjirea cu care îşi apărau părerile, arătau fără putinţă de tăgadă că subiectul li se părea important. Acest fapt nu trebuie să ne surprindă.

Dacă mă consacru unei ştiinţe nu din raţiuni exterioare, cum ar fi câştigul material, ambiţia şi, de asemenea nu, sau nu exclusiv, pentru satisfacţia sportivă, pentru plăcerea gimnasticii creierului, atunci trebuie, ca învăţăcel al acestei ştiinţe, să mă intereseze în mod arzător întrebarea: Ce ţel vrea şi poate să atingă ştiinţa căreia mă dedic? În ce măsură rezultatele ei generale sunt „adevărate „? Ce este esenţial în ea şi ce ţine doar de aspecte contingente ale dezvoltării?

Pentru a omagia meritul lui Mach nu avem voie să ocolim întrebarea: Ce a adus nou reflecţia lui Mach asupra acestor probleme generale, ceva ce nu i-a trecut prin cap nici unui om înaintea lui? Adevărul în aceste lucruri trebuie dăltuit întotdeauna, mereu şi mereu, de naturi puternice,

întotdeauna potrivit nevoilor timpului pentru care lucrează sculptorul; dacă nu este întotdeauna produs din nou, el se pierde. De aceea este greu şi nu atât de esenţial, să răspundem la întrebările: „Ce ne-a învăţat principial nou Mach, în raport cu ceea ce ştim de la Bacon şi Hume? „ „Ce îl distinge în mod esenţial de Stuart Mill, Kirchhoff, Hertz, Helmholtz în ceea ce priveşte punctul de vedere epistemologic general faţă de ştiinţele particulare? „[6] Fapt este că, prin scrierile sale istorico-critice, în care urmăreşte cu atâta dragoste dezvoltarea ştiinţelor particulare şi-l iscodeşte pe cercetătorii deschizători de drumuri până în intimităţile creierului lor, Mach a avut o mare influenţă asupra generaţiei noastre de cercetători ai naturii. Ba, mai mult, cred că nici cei care se socot adversari ai lui Mach nu-şi dau seama cât au absorbit din modul machist de a vedea lucrurile, pentru a spune aşa, o dată cu laptele mamei.

După Mach, ştiinţa nu este altceva decât comparare şi ordonare a conţinuturilor de conştiinţă ce ne sunt date de fapt, potrivit anumitor puncte de vedere şi metode probate de noi în timp. Fizică şi psihologia nu se deosebesc deci una de cealaltă în ceea ce priveşte obiectul, ci numai din punctul de vedere al ordonării şi corelării materialului. Se pare că cercetarea modului cum s-a realizat în particular această ordine, în ştiinţele pe care le stăpânea, i-a apărut lui Mach drept principala sa sarcină. Ca rezultate ale activităţilor de ordonare apar noţiunile abstracte şi legile (regulile) corelării lor. Amândouă sunt în aşa fel alese încât împreună alcătuiesc o schemă ordonatoare în care se încadrează sigur şi sistematic datele ce urmează să fie ordonate. Potrivit celor spuse, conceptele au sens numai în măsura în care pot fi arătate lucrurile la care se raportează ele, ca şi punctele de vedere după care sunt coordonate cu aceste lucruri (analiza conceptelor). [7]

Însemnătatea unor asemenea spirite ca Mach nu stă câtuşi de puţin numai în aceea că au satisfăcut anumite nevoi

filozofice ale timpului, pe care specialistul nărăvit le-ar putea califica drept un lux. Noţiunile care s-au dovedit folositoare în ordonarea lucrurilor ajung cu uşurinţă să aibă asupra noastră o asemenea autoritate încât uităm de originea lor pământească şi le luăm ca date imuabile. Ele vor fi calificate apoi drept „necesităţi ale gândirii „, „date a priori „şi aşa mai departe. Asemenea greşeli barează adesea pentru mult timp calea progresului ştiinţific. De aceea nu trebuie câtuşi de puţin să privim ca un joc gratuit exersarea în vederea analizării conceptelor devenite de mult familiare, precum şi a relevării împrejurărilor de care atârna justificarea şi utilitatea lor, a felului cum au luat naştere în particular din datele experienţei. Aceasta va face ca autoritatea lor excesivă să fie subminată. Ele vor fi înlăturate dacă nu-şi vor putea găsi justificarea cu adevărat, vor fi corijate când coordonarea lor cu lucrurile date a devenit prea laxă, înlocuite cu altele dacă poate fi formulat un sistem nou, pe care, din anumite motive, îl preferăm. [8]

Asemenea analize îi apăr de cele mai multe ori omului de ştiinţă specializat, a cărui privire este îndreptată mai mult asupra particularului, de prisos, afectate, uneori chiar ridicole. Situaţia se schimbă însă când una din noţiunile folosite în mod obişnuit este înlocuită cu alta mai precisă, fiindcă dezvoltarea ştiinţei respective o cere. Atunci, cei ce nu folosesc cu precizie propriile noţiuni protestează energic şi se plâng că bunurile cele mai sfinte sunt supuse unei ameninţări revoluţionare. În acest strigăt se amestecă apoi şi glasurile acelor filozofi care cred că nu se pot lipsi de acea noţiune deoarece au aşezat-o în caseta lor a „absolutului „, a „a priori-ului „sau a ceva asemănător, fiindcă au proclamat imuabilitatea ei principală.

Cititorul a şi ghicit, desigur, că aici eu fac aluzie cu deosebire la anumite concepte ale teoriei spaţiului şi timpului, ca şi ale mecanicii, care au cunoscut o modificare prin teoria relativităţii. Nimeni nu poate să conteste teoreticienilor cunoaşterii meritul de a fi netezit în această

privinţă căile dezvoltării viitoare; despre mine ştiu cel puţin că am fost stimulat în mod deosebit, direct sau indirect, de Hume şi Mach. [15] Rog cititorul să ia în mână lucrarea lui Mach Mecanica în dezvoltarea ei şi să urmărească consideraţiile formulate în capitolul al doilea sub numerele 6 şi 7 (Opiniile lui Newton despre timp, spaţiu şi mişcare şi Critică sistematică a argumentelor newtoniene). Acolo se găsesc gânduri prezentate cu măiestrie, dar departe de a fi devenit bunul comun al fizicienilor. Aceste părţi atrag în mod special şi datorită faptului că sunt legate de pasaje citate textual din scrierile lui Newton. Iată câteva asemenea delicatese:

Newton: „Timpul absolut, adevărat şi matematic, în sine şi după natura sa curge în mod egal fără nici o legătură cu ceva extern şi cu un alt nume se cheamă şi durată. „

„Timpul relativ, absolut şi comun, este acea măsură (precisă şi neegală) sensibilă şi eternă a oricărei durate determinată prin mişcare, care se foloseşte de obicei în loc de timpul adevărat, ca oră, ziuă, lună, an. „

Mach: „. Dacă un lucru A se schimba cu timpul, aceasta nu înseamnă decât că există o dependenţă a condiţiilor unui lucru A de condiţiile unui alt lucru B. Oscilaţiile unui pendul se produc în timp dacă mişcarea acestuia depinde de poziţia Pământului. Deoarece atunci când observăm pendulul nu trebuie să fim atenţi la dependenţa lui faţă de poziţia Pământului, ci putem să-l comparăm pe acesta cu orice alt lucru. se creează uşor impresia că toate aceste lucruri sunt neesenţiale. Noi nu avem posibilitatea să măsurăm schimbarea lucrurilor prin raportare la timp. Timpul este mai degrabă o abstracţie la care ajungem prin schimbarea lucrurilor, deoarece nu suntem legaţi de o anumită unitate de măsură, toate depinzând unele de altele. „

Newton: „Prin natura sa fără nici o relaţie cu ceva extern, spaţiul absolut rămâne întotdeauna asemenea şi imobil. „

„Spaţiul relativ este o măsură sau o parte oarecare mobilă a

celui absolut, care se relevă simţurilor noastre prin poziţia sa faţă de corpuri şi de obicei se confundă cu spaţiul imobil. „

Urmează apoi o definiţie corespunzătoare a conceptelor „mişcare absolută „şi „mişcare relativă „. După aceasta: „Efectele prin care se deosebesc între ele mişcările absolute şi relative sunt forţele cu care corpurile tind să se îndepărteze de axa mişcării circulare. În adevăr, în mişcarea circulară pur relativă aceste forţe sunt nule, însă în mişcarea circulară adevărată şi absolută ele sunt mai mari sau mai mici, după cantitatea de mişcare. „[10]

Urmează acum descrierea bine cunoscutului experiment cu vasul ce trebuie să întemeieze intuitiv cea din urmă afirmaţie. [11]

Critica pe care o face Mach acestui punct de vedere este foarte interesantă; citez din această lucrare câteva pasaje deosebit de pregnante: „Când spunem că un corp K îşi schimbă direcţia şi viteza numai sub influenţa unui alt corp K', noi nu putem să ajungem câtuşi de puţin la această judecată dacă nu există alte corpuri A, B, C. faţă de care judecăm mişcarea corpului K. Noi recunoaştem astfel, de fapt, o relaţie a corpului K cu A, B, C. Dacă am face abstracţie dintr-o dată de A, B, C. şi am vrea să vorbim de comportamentul corpului K în spaţiul absolut, atunci am comite o dublă greşeală. Mai întâi, nu am putea şti cum s-ar comporta K în absenţa corpurilor A, B, C., iar, apoi, ne-ar lipsi orice mijloc de a judeca comportarea corpului K şi de a verifica enunţurile noastre, care nu ar mai avea, aşadar, un sens ştiinţific. „ „Mişcarea unui corp K poate fi judecată întotdeauna numai prin raportare la alte corpuri A, B, C. Deoarece întotdeauna avem la dispoziţie un număr suficient de corpuri ce stau relativ nemişcate unele faţă de altele sau îşi schimbă poziţia doar lent, noi nu suntem legaţi aici de vreun corp determinat şi putem să facem abstracţie fie de unul, fie de altul. Aşa a luat naştere părerea că, în general, existenţa acestor corpuri nu ar conta. „ „Experimentul lui

Newton cu vasul de apă ce se roteşte ne învaţă doar că rotaţia relativă a apei faţă de pereţii vasului nu provoacă forţe centrifuge notabile, dar că acestea sunt provocate de rotaţia relativă faţă de masa Pământului şi faţă de celelalte corpuri cereşti. Nimeni nu poate să spună cum s-ar desfăşura experimentul dacă pereţii vasului ar fi tot mai groşi şi mai voluminoşi şi, până la urmă, ar atinge o grosime de mai multe mile. „

Rândurile citate arată că Mach a recunoscut în mod clar părţile slabe ale mecanicii clasice [12] şi nu a fost prea departe de a pretinde o teorie generală a relativităţii şi aceasta încă acum aproape o jumătate de secol! Nu este improbabil că Mach ar fi ajuns la teoria relativităţii, dacă, pe vremea când spiritul său mai avea încă prospeţimea tinereţii, întrebarea cu privire la însemnătatea constanţei vitezei luminii i-ar fi preocupat pe fizicieni. În lipsa acestui impuls ce derivă din electrodinamica Maxwell–Lorentz, exigenţa critică a lui Mach nu a fost suficientă pentru a trezi sentimentul necesităţii unei definiţii a simultaneităţii evenimentelor separate spaţial.

Reflecţiile asupra experimentului lui Newton cu vasul arată cât de aproape de spiritul său a fost revendicarea relativităţii în sens mai general (relativitatea acceleraţiilor). Bineînţeles că aici lipseşte conştiinţa vie a faptului că egalitatea masei inerte şi grele a corpurilor cere un postulat al relativităţii într-un sens mai larg, în măsura în care noi nu suntem în stare să decidem prin experiment dacă căderea corpurilor faţă de un sistem de coordonate trebuie atribuită existenţei unui câmp gravitaţional sau stării de acceleraţie a sistemului de coordonate.

Potrivit evoluţiei sale spirituale, Mach nu a fost un filozof care şi-a ales ca obiect al speculaţiilor sale ştiinţele naturii, ci un cercetător cu interese largi, harnic, pentru care investigaţia dincolo de problemele de detaliu, situate în centrul interesului general, constituia în mod vizibil o delectare.8 Dovadă stau nenumăratele lui cercetări

particulare în domeniul fizicii şi al psihologiei empirice, pe care le-a publicat în parte singur, în parte împreună cu elevii săi. Dintre cercetările sale în fizică, experimentele cele mai cunoscute sunt cele asupra undelor sonore generate de proiectile. Chiar dacă ideea de bază aplicată aici nu a fost principial nouă, aceste cercetări au relevat totuşi un talent experimental neobişnuit. El a izbutit să înregistreze fotografic distribuţia densităţii aerului în apropierea unui proiectil cu o viteză mai mare decât cea a sunetului şi să arunce astfel o lumină asupra unui gen de fenomene acustice despre care până la el nu se ştia nimic. Expunerea lui populară asupra acestor cercetări va bucura pe orice om care poate găsi plăcere în probleme de fizică.

Cercetările filozofice ale lui Mach au izvorât exclusiv din dorinţa de a ajunge la un punct de vedere din care diferitele discipline ştiinţifice, cărora le-a consacrat munca sa de o viaţă, pot să fie concepute drept contribuţii la realizarea unui ţel comun. El concepe întreaga ştiinţă ca năzuinţă spre ordonarea experienţelor elementare separate, pe care le-a desemnat ca „senzaţii „. Expresia respectivă a făcut posibil ca acest gânditor sobru şi precaut să fie adeseori socotit drept un filozof idealist şi solipsist de către cei care nu s-au ocupat îndeaproape de lucrările sale.

Citind lucrările lui Mach, împărtăşeşti plăcerea pe care trebuie să o fi simţit autorul atunci când şi-a aşternut pe hârtie propoziţiile sale pregnante şi precise. Dar nu numai delectarea intelectuală şi satisfacţia produsă de un stil bun fac atât de atrăgătoare lectura cărţilor sale, ci şi bunătatea, omenia şi optimismul care sclipesc adesea printre rândurile sale atunci când vorbeşte despre probleme omeneşti de interes general. Acest fel de a fi l-a ferit şi de boala epocii, care astăzi doar pe puţini i-a ocolit şi anume fanatismul naţional. În articolul său de popularizare „Despre fenomene produse la proiectilele ce zboară „el nu s-a putut abţine să dea expresie, în ultimul alineat, speranţei sale de realizare a înţelegerii între popoare.

NOTE.

Acest fel. În această privinţă, vezi, bunăoară, G. Holton, Unde este realitatea? Răspunsurile lui Einstein, în Ştiinţă şi sinteză, Editura Politică, Bucureşti, 1969 îndeosebi pp. 116–117

Sale despre căldură în primii ani ai studiilor mele şi că aceste două lucrări mi-au făcut o mare impresie. Până la ce punct au acţionat ele asupra propriei mele munci nu-mi pot da seama clar, pentru a vorbi sincer, atât cât îmi amintesc. D. Hume a avut asupra mea o influenţă directă mai mare. L-am citit la Berna în tovărăşia lui Conrad Habicht şi Solovine. Dar, cum am spus-o, nu sunt în măsură să analizez ceea ce a rămas ancorat în subconştientul meu. „(A. Einstein, M. Besso, Correspondance, 1903–1955 Hermann, Paris, 1979 pp. 230–231). Referirea la influenţa lui Hume este în aceste context revelatoare şi pentru natura influenţei pe care a exercitat-o Mach asupra gândirii lui Einstein. Căci ceea ce a putut reţine cu deosebire Einstein din analizele critice ale lui Hume, îndeosebi din cele consacrate conceptului de cauzalitate, era avertismentul asupra tentaţiei la care suntem supuşi tot timpul de a atribui unor noţiuni care au fost folosite cu succes o perioadă mai lungă de timp şi s-au fixat ca efect al obişnuinţei statutul de „necesităţi ale gândirii „, de categorii a priori. Chiar şi în rândurile de mai jos ale textului lui Einstein, Mach şi Hume sunt amintiţi împreună ca teoreticieni ai cunoaşterii care au denunţat caracterizarea drept a priori sau logic necesară a unor noţiuni al căror prestigiu nu s-ar sprijini decât pe obişnuinţe create de o utilizare îndelungată.

Această privinţă şi notă [13] la textul Observaţii asupra articolelor reunite în acest volum.

PRINCIPIILE CERCETĂRII.

Discurs la cea de-a 60-a aniversare a lui Max Planck în cadrul Societăţii de fizică din Berlin.

Un edificiu multiform acesta este templul ştiinţei. Cu totul diferiţi sunt oamenii care îi trec pragul şi diferite sunt

forţele sufleteşti care i-au condus spre templu. Câte unul se îndeletniceşte cu ştiinţa având sentimentul plăcut al capacităţii sale intelectuale superioare; pentru el ştiinţa este exerciţiul potrivit care va trebui să-l ajute să trăiască intens şi să-şi satisfacă ambiţia; în templu pot fi găsiţi de asemenea mulţi care îşi aduc aici ofranda din substanţa creierului lor doar pentru ţeluri utilitare. Dacă ar veni acum un înger al Domnului şi i-ar alunga din templu pe toţi cei ce fac parte din aceste două categorii, templul s-ar goli într-un mod îngrijorător. Ar mai rămâne totuşi în templu oameni din zilele noastre, ca şi din vremurile mai vechi. Printre aceştia este şi Planck al nostru şi de aceea îl iubim.

Ştiu prea bine că noi am alungat cu inimă uşoară şi mulţi oameni de valoare care au clădit în mare parte, poate în cea mai mare parte, templul ştiinţei; în privinţa multora dintre ei îngerului nostru i-ar fi greu să se hotărască. Un lucru mi se pare însă sigur: dacă nu ar fi existat decât oameni de tipul celor alungaţi, atunci templul nu ar fi putut fi înălţat, după cum nu poate creşte o pădure în care nu întâlneşti decât plante agăţătoare. Pentru aceşti oameni orice câmp de activitate este la fel de bun; atârna de împrejurări exterioare dacă ei devin ingineri, ofiţeri, comercianţi sau oameni de ştiinţă. Să ne întoarcem însă din nou privirea spre cei ce au găsit îndurare din partea îngerului! Ei sunt, de cele mai multe ori, inşi ciudaţi,

Retraşi şi singuratici, care, dincolo de aceste apropieri, sunt, de fapt, mai puţin asemănători decât cei din ceata celor alungaţi. Ce i-a adus oare în templu? Răspunsul nu este uşor de dat şi nu poate fi, desigur, acelaşi pentru toţi. Mai întâi, cred, împreună cu Schopenhauer, că unul din cele mai puternice motive ce conduc la artă şi ştiinţă este evadarea din viaţa de toate zilele cu asprimea ei dureroasă şi puştiul ei dezolant, din cătuşele propriilor dorinţe veşnic schimbătoare. Toate acestea îl alungă pe omul sensibil din existenţa personală în lumea contemplării obiective şi a înţelegerii; este un motiv comparabil cu nostalgia ce îl

împinge pe orăşean, fără putinţă de împotrivire, din ambianţa sa zgomotoasă şi lipsită de perspectivă spre ţinuturile liniştite ale munţilor înalţi unde privirea se pierde în depărtări prin aerul liniştit şi pur şi se animă de contururi odihnitoare create, parcă, de eternitate. Acestui motiv negativ i se alătură însă unul pozitiv. Omul încearcă, într-un fel care să i se potrivească oarecum, să-şi creeze o imagine a lumii simplificată şi sistematică şi să treacă astfel dincolo de lumea trăirilor, în măsura în care năzuieşte să o înlocuiască, până la un anumit grad, prin această imagine. Este ceea ce face pictorul, poetul, filozoful speculativ şi cercetătorul naturii, fiecare în felul său. El strămută centrul de greutate al vieţii sufleteşti în această imagine şi în alcătuirea ei pentru a căuta astfel liniştea şi statornicia pe care nu le poate găsi în cercul prea strâmt al zbuciumatelor trăiri personale.

Ce loc ocupă imaginea despre lume a fizicianului teoretician între toate aceste imagini posibile ale lumii? Ea cere că descrierea corelaţiilor să fie de o rigoare şi exactitate maxime pe care doar folosirea limbajului matematic le poate oferi. În schimb, fizicianul trebuie să fie cu atât mai modest în ceea ce priveşte conţinutul, mulţumindu-se să descrie cele mai simple fenomene ce pot fi făcute accesibile simţurilor noastre, în timp ce toate fenomenele mai complexe nu pot fi reconstituite de spiritul omenesc cu acea subtilă precizie şi consecvenţă pe care le cere fizicianul teoretician. Cea mai mare puritate, claritate şi siguranţă cu preţul completitudinii. Ce farmec poate însă avea să cuprinzi cu precizie un fragment atât de mic al naturii şi să laşi la o parte, timid şi descurajat, tot ce este mai fin şi mai complex? Merită rezultatul unei îndeletniciri atât de resemnate mândrul nume „imagine a lumii „(Weltbild)?

Eu cred că mândrul nume este pe deplin meritat, căci legile universale pe care se sprijină edificiul de idei al fizicii teoretice au pretenţia de a fi valabile pentru orice

eveniment din natură. Pornind de la ele ar trebui să fie găsită, pe calea deducţiei pur mintale, imaginea, adică teoria oricărui proces al naturii, inclusiv al fenomenelor vieţii, dacă acest proces de deducţie nu ar depăşi cu mult capacitatea minţii omeneşti. Renunţarea la completitudinea tabloului fizic al lumii nu este, aşadar, principială.

Cea mai înaltă menire a fizicianului este, prin urmare, căutarea acelor legi elementare, cele mai generale, din care, prin pură deducţie, poate fi dobândita imaginea lumii. La aceste legi elementare nu duce nici un drum logic, ci numai intuiţia ce se sprijină pe cufundarea în experienţă. Dată fiind această nesiguranţă a metodei, am putea crede că ar fi cu putinţă oricât de multe sisteme ale fizicii teoretice, în egală măsură îndreptăţite; această părere este, desigur, chiar şi principial vorbind, întemeiată. Desfăşurarea lucrurilor ne-a arătat însă că, din toate construcţiile ce pot fi gândite, una singură s-a dovedit superioară în raport cu celelalte în momentul respectiv. Nici un om care a aprofundat cu adevărat subiectul nu va tăgădui că lumea percepţiilor determină într-un mod practic univoc sistemul teoretic, deşi nici un drum logic nu duce de la percepţii spre principiile teoriei; este ceea ce Leibniz a numit într-un mod atât de fericit „armonie prestabilită „1 A nu fi apreciat cum se cuvine această împrejurare este reproşul grav pe care îl fac fizicienii unor teoreticieni ai cunoaşterii. Aici mi se pare că se află şi rădăcinile polemicii de acum câţiva ani dintre Mach şi Planck.2

Năzuinţa spre contemplarea acelei armonii prestabilite este izvorul nesfârşitei stăruinţe şi răbdări cu care îl vedem pe Planck dăruindu-se problemelor celor mai generale ale ştiinţei noastre, fără a se lăsa abătut de ţeluri mai rentabile şi mai uşor accesibile. [14] Am auzit deseori că tovarăşii de breaslă voiau să explice această purtare printr-o putere a voinţei şi o disciplină ieşite din comun; cu totul pe nedrept, cred eu. Căci starea de spirit care îl face pe un ins în stare

de asemenea realizări seamănă cu cea a omului religios sau cu cea a îndrăgostitului; strădania de fiecare zi nu izvorăşte din nici o intenţie şi din nici un program, ci dintr-o nevoie nemijlocită.

Iubitul nostru Planck este în mijlocul nostru şi priveşte cu îngăduinţă jocul meu copilăresc cu lampa lui Diogene. Simpatia pe care i-o purtăm nu are nevoie de nici o întemeiere. Fie ca iubirea pentru ştiinţă să-l înfrumuseţeze şi în viitor drumul vieţii şi să-l conducă la dezlegarea celei mai importante probleme fizice a prezentului căreia i-a dat un impuls atât de puternic. Să-l reuşească unificarea într-un sistem logic unitar a teoriei cuantice moment judecata lui Einstein a fost influenţată hotărâtor de modul cum aprecia poziţiile celor doi fizicieni faţă de proiectul teoriei generale a relativităţii la care lucra. Exprimându-şi satisfacţia pentru interesul lui Mach faţă de noua sa teorie, Einstein continua astfel în prima sa scrisoare: „Mă bucură în mod deosebit că prin dezvoltarea acestei teorii vor deveni cunoscute profunzimea şi însemnătatea cercetărilor dumneavoastră asupra fundamentelor mecanicii. Nu pot să înţeleg nici astăzi de ce Planck, pe care de altfel am învăţat să-l preţuiesc ca pe nimeni altul, are atât de puţină înţelegere pentru strădaniile dumneavoastră. El are de altfel o atitudine de respingere şi faţă de teoria mea. Nu pot să iau această în nume de rău. Căci până acum acel argument epistemologic este singurul lucru pe care aş putea să-l invoc în favoarea noii mele teorii. „(Fr. Herneck, Einstein und sein Weltbild, Buchverlag Der Morgen, Berlin, 1976 pp. 140–141). În a doua scrisoare Einstein îi comunică lui Mach că i-a trimis un exemplar al noii sale lucrări despre relativitatea generală. Teoria va putea fi testată experimental cu ocazia eclipsei de soare din 1914 Dacă rezultatul va fi pozitiv, „genialele dumneavoastră cercetări despre fundamentul mecanicii vor cunoaşte o strălucită confirmare, în ciuda criticii neîntemeiate a lui Planck „(op. Cât, p. 143).

GEOMETRIE ŞI EXPERIENŢĂ.

Matematica se bucură, faţă de toate celelalte ştiinţe, de un prestigiu aparte dintr-un anumit motiv: propoziţiile ei sunt absolut sigure şi neîndoielnice în vreme ce propoziţiile tuturor celorlalte ştiinţe sunt într-o anumită măsură discutabile şi în permanent pericol de a fi răsturnate de fapte nou descoperite. Cu toate acestea, cercetătorul dintr-un alt domeniu nu ar trebui să-l invidieze pe matematician dacă propoziţiile lui s-ar raporta nu la obiecte ale realităţii, ci la cele ale simplei noastre închipuiri. Căci nu trebuie să surprindă că se ajunge la consecinţe logice general acceptate dacă s-a realizat un acord asupra propoziţiilor fundamentale (axiome), ca şi asupra metodelor prin mijlocirea cărora au fost derivate alte propoziţii din aceste propoziţii fundamentale. Dar acest mare prestigiu al matematicii decurge, pe de altă parte, din faptul că matematica este aceea care conferă ştiinţelor exacte ale naturii un anumit grad de siguranţă, pe care, fără matematică, nu l-ar fi putut atinge.

În acest punct survine o enigmă care i-a neliniştit în mod deosebit pe cercetătorii din toate timpurile. Cum este oare cu putinţă ca matematica, care este un produs al gândirii omeneşti independent de orice experienţă, să se potrivească totuşi atât de bine obiectelor realităţii? Poate, aşadar, raţiunea omenească să cerceteze însuşiri ale lucrurilor reale prin simplă gândire, fără ajutorul experienţei?

La acestea se poate răspunde, după părerea mea, scurt: în măsura în care propoziţiile matematicii se raportează la realitate, ele nu sunt sigure, iar în măsura în care sunt sigure, ele nu se raportează la realitate. Cred că o deplină claritate în ceea ce priveşte această situaţie a devenit un bun comun abia prin acea direcţie din matematică cunoscută sub numele de „axiomatică „. Progresul realizat prin axiomatică constă în aceea că prin ea logic-formalul a fost despărţit net de conţinutul material sau intuitiv; potrivit

axiomaticii, numai logic-formalul reprezintă obiectul matematicii şi nu conţinutul intuitiv sau un alt conţinut corelat cu logic-formalul.

Să considerăm, din acest punct de vedere, o axiomă oarecare a geometriei, bunăoară următoarea: prin două puncte din spaţiu trece întotdeauna o dreaptă şi numai o singură dreaptă. Cum poate fi interpretată această axiomă în sensul mai vechi şi mai nou?

Interpretarea mai veche: Fiecare ştie ce este o dreaptă şi ce este un punct. Dacă această cunoaştere provine din interacţiunea elementului logic-formal şi intuitiv sau din altă sursă, acest lucru nu trebuie să-l decidă matematicianul; el lasă această decizie în seama filozofului. Sprijinită pe această cunoaştere, dată înaintea oricărei matematici, axioma numită, ca şi toate celelalte axiome, este evidentă, adică este expresia unei părţi a acestei cunoaşteri a priori.

Interpretarea mai nouă: Geometria operează cu obiecte desemnate prin cuvintele dreaptă, punct şi aşa mai departe. Nu se presupune nici o cunoaştere sau intuiţie despre aceste obiecte, ci doar validitatea unei axiome înţelese de asemenea pur formal, adică detaşată de orice conţinut intuitiv şi de trăire. Faţă de un asemenea conţinut, axioma amintită este un exemplu. Aceste axiome sunt creaţii libere ale spiritului omenesc. Toate celelalte propoziţii geometrice sunt consecinţe logice derivate din axiome (concepute pur nominalist). Abia axiomele definesc obiectele cu care se ocupă geometria. De aceea Schlick, în cartea sa de teoria cunoaşterii, a caracterizat axiomele foarte potrivit ca „definiţii implicite „[18].

Această concepţie asupra axiomei, susţinută de axiomatica modernă, curăţă matematică de toate elementele ce nu ţin de ea şi înlătură astfel întunecimea mistică ce învăluia mai înainte fundamentul matematicii. O asemenea reprezentare purificată face de asemenea evident faptul că matematica ca atare nu poate să enunţe ceva nici despre obiecte ale

intuiţiei, nici despre obiecte ale realităţii. În geometria axiomatică prin „punct „, „dreaptă „şi aşa mai departe trebuie înţelese doar scheme conceptuale golite de orice conţinut. Ceea ce le dă conţinut nu aparţine matematicii.

Pe de altă parte, este însă totuşi sigur că matematică în genere şi geometria, în special, îşi datorează geneza nevoii de a afla ceva despre comportarea lucrurilor reale. Aceasta o dovedeşte chiar cuvântul geometrie care înseamnă „măsurarea pământului „. Căci măsurarea pământului tratează despre posibilităţile aşezării anumitor corpuri din natură unele faţă de altele, adică despre părţi ale globului pământesc, despre sfori ale zidarilor, rigle de măsurat şi aşa mai departe. Este clar că sistemul de concepte al geometriei axiomatice nu oferă nici un enunţ despre comportarea unor asemenea obiecte ale realităţii pe care dorim să le caracterizăm drept corpuri practic rigide. Pentru a putea furniza asemenea enunţuri, geometria trebuie să fie despuiată de caracterul ei logic-formal în aşa fel încât schemele conceptuale goale ale geometriei axiomatice să fie coordonate cu obiecte ale realităţii cunoscute prin simţuri. Pentru a realiza această trebuie să adăugăm doar propoziţia: corpurile rigide se comportă în ceea ce priveşte posibilităţile lor de aşezare ca şi corpurile geometriei euclidiene cu trei dimensiuni; atunci propoziţiile geometriei euclidiene cuprind enunţuri despre comportarea unor corpuri practic rigide.

Geometria completată în acest fel este în mod evident o ştiinţă a naturii; o putem considera chiar ca cea mai veche ramură a fizicii. Enunţurile ei se sprijină în esenţă pe inducţie din experienţă, nu numai pe concluzii logice. Vom numi geometria astfel completată „geometrie practică „şi o vom distinge în cele ce urmează de „geometria pur axiomatică „. Întrebarea dacă geometria practică a lumii este una euclidiană are un sens clar şi poate să primească un răspuns numai prin experienţă. Orice măsurare a lungimilor în fizică este geometrie practică în acest sens, la

fel măsurarea geodezică şi astronomică a lungimilor, dacă ne ajutăm de propoziţia empirică după care lumina se propagă în linie dreaptă şi anume în linie dreaptă în sensul geometriei practice.

Acestei concepţii asupra geometriei îi acord o semnificaţie deosebită deoarece fără ea mi-ar fi fost cu neputinţă să stabilesc teoria relativităţii. Fără ea ar fi fost imposibilă următoarea reflecţie: într-un sistem de referinţă ce se roteşte în raport cu un sistem inerţial, legile de aşezare ale corpurilor rigide nu corespund, datorită contracţiei Lorentz, regulilor geometriei euclidiene; aşadar, dacă sistemele neinerţiale sunt acceptate ca sisteme cu aceleaşi drepturi, geometria euclidiană va trebui să fie părăsită. Pasul hotărâtor al trecerii spre ecuaţii general covariante nu ar fi fost în mod sigur făcut dacă nu ar fi fost adoptată interpretarea de mai sus. Dacă se respinge relaţia dintre corpurile geometriei axiomatic euclidiene şi corpurile practic rigide ale realităţii, se ajunge la următoarea concepţie, pe care a apărat-o îndeosebi pătrunzătorul Henri Poincaré: dintre toate celelalte geometrii axiomatice ce pot fi gândite, geometria euclidiană se distinge prin simplitatea ei. Deoarece geometria axiomatică singură nu conţine însă nici un enunţ despre realitatea cunoscută prin simţuri, ci numai geometria axiomatică în corelaţie cu propoziţii fizice, ar fi posibil şi raţional să păstrăm geometria euclidiană, oricare ar fi alcătuirea realităţii. Căci, dacă vor apărea contradicţii între teorie şi experienţă, ne vom decide mai curînd la o schimbare a legilor fizice decât a geometriei euclidiene axiomatice. Dacă se respinge relaţia dintre corpurile practic rigide şi geometrie, nu vom putea scăpa uşor de convenţia că trebuie să păstrăm geometria euclidiană că geometria cea mai simplă.

De ce resping Poincaré şi alţi cercetători echivalenţa evidentă a corpurilor practic rigide ale experienţei şi a corpurilor geometrice? Pur şi simplu deoarece corpurile real solide din natură nu sunt, la o considerare mai atentă,

rigide, deoarece comportarea lor geometrică, adică posibilităţile lor de aşezare relative, depind de temperatură, forţe exterioare şi aşa mai departe. Cu aceasta, relaţia originară, nemijlocită dintre geometrie şi realitatea fizică pare să fie distrusă şi ne simţim împinşi spre următoarea concepţie mai generală, ce caracterizează punctul de vedere al lui Poincaré: geometria (G) nu spune nimic despre comportarea lucrurilor reale, ci numai geometria împreună cu suma legilor fizice (F). Simbolic putem spune că numai suma (G) + (F) se supune controlului experienţei. Putem deci să alegem în mod arbitrar pe G, ca şi părţi din F; toate aceste legi sunt convenţii. Pentru evitarea contradicţiilor este necesar să alegem restul lui (F) în aşa fel încât (G) şi (F), luate împreună, să fie în acord cu experienţa. În această concepţie, geometria axiomatică şi o parte a legilor naturii, ridicate la rangul de convenţii, apar drept echivalente din punct de vedere epistemologic.

Sub specie aeterni Poincaré are, după părerea mea, dreptate. Conceptul de etalon de măsurare, ca şi conceptul ceasornicului de măsurat, ce îi este coordonat în teoria relativităţii, nu găsesc în lumea reală un obiect care să le corespundă în mod exact. Este de asemenea clar că nici corpurile rigide, nici ceasornicul nu joacă rolul de elemente ireductibile ale construcţiei conceptuale a fizicii, ci rolul unor structuri corelate ce nu au voie să joace un rol de sine stătător în construcţia fizicii teoretice. Convingerea mea este că, în actualul stadiu de dezvoltare a fizicii teoretice, aceste concepte trebuie să figureze ca noţiuni independente; căci suntem încă departe de o cunoaştere asigurată a fundamentelor teoretice ale atomisticii astfel încât să putem da o construcţie teoretică exactă acestor structuri.

Cât priveşte, mai departe, obiecţia că în natură nu există corpuri cu adevărat rigide şi că însuşirile atribuite acestora nu privesc realitatea fizică, această obiecţie nu este câtuşi

de puţin atât de profundă cum s-ar putea crede la o examinare fugitivă. [19] Căci nu este greu să stabilim starea fizică a unui instrument de măsurat cu atâta precizie încât comportarea lui faţă de aşezarea relativă a altor instrumente de măsurat să devină destul de univocă, permiţându-ne să-l substituim corpului „rigid „. La asemenea instrumente de măsurat vor trebui raportate enunţurile despre corpurile rigide.

Orice geometrie practică se sprijină pe un principiu accesibil experienţei pe care dorim să ni-l imaginăm acum. Vom numi linie distanţa dintre două jaloane aşezate pe un corp practic rigid. Ne imaginăm două corpuri practic rigide, pe fiecare fiind însemnată o linie. Aceste două linii vor trebui numite „egale una cu alta „dacă jaloanele uneia pot fi făcute să coincidă în mod constant cu jaloanele celeilalte. Se presupune acum că, dacă două linii sunt găsite egale o dată şi într-un anumit loc, ele sunt egale întotdeauna şi pretutindeni.

Pe aceste presupoziţii se sprijină nu numai geometria euclidiană practică, ci şi cea mai apropiată generalizare a ei, geometria riemanniană practică şi cu aceasta şi teoria generală a relativităţii. Dintre temeiurile empirice ce vorbesc în favoarea acestor presupoziţii voi expune aici unul singur. Fenomenul propagării luminii în spaţiul vid pune în corespondenţă cu orice interval spaţio-temporal o linie, adică drumul corespunzător al luminii şi invers. Legat de aceasta, presupunerea indicată mai sus pentru linii trebuie să fie valabilă în teoria relativităţii şi pentru intervale de timp măsurate de ceasornice. În acest caz, ea poate fi formulată astfel: dacă două ceasornice ideale merg la fel de repede undeva şi cândva (ele fiind nemijlocit învecinate), ele merg la fel de repede întotdeauna, indiferent unde şi când au fost ele comparate în acelaşi loc. Dacă această propoziţie nu ar fi valabilă pentru ceasornicele naturale, atunci frecvenţele proprii atomilor individuali ai aceluiaşi element chimic nu ar coincide atât de

exact unele cu altele cum o arată experienţa. Existenţa liniilor spectrale nete constituie o probă empirică convingătoare pentru numitul principiu al geometriei practice. De aceea, în cele din urmă, putem vorbi cu sens de o metrică riemanniană a continuului cvadridimensional spaţiu-timp.

Problema dacă acest continuu este euclidian sau adecvat schemei riemanniene generale sau altfel structurat este, potrivit concepţiei susţinute aici, o problemă propriu-zis fizică, la care răspunsul trebuie să-l dea experienţa şi nu este deci problema unei convenţii ce urmează să fie aleasă pe temeiuri de convenabilitate. [20] Geometria riemanniană va fi valabilă exact atunci când legile de aşezare a corpurilor practic rigide trec tot mai exact în cele ale corpurilor geometriei euclidiene în măsura în care mărimile domeniului spaţio-temporal considerat se micşorează.

Interpretarea fizică a geometriei prezentată aici eşuează, este adevărat, în aplicarea ei imediată la spaţii de mărimii submoleculare. Ea îşi păstrează totuşi o parte din semnificaţia ei şi pentru problemele constituţiei particulelor elementare. Căci se poate încerca să se atribuie semnificaţie fizică conceptelor câmpului, care au fost definite pentru descrierea geometrică a comportării corpurilor mai mari decât molecula şi atunci când este vorba de descrierea particulelor electrice elementare din care este constituită substanţa materială. Numai succesul poate decide asupra îndreptăţirii unei asemenea încercări ce acordă realitate fizică conceptelor de bază ale geometriei riemanniene dincolo de domeniul lor de aplicare fizic definit. Este posibil să rezulte că această extrapolare este tot atât de puţin oportună ca şi cea a conceptului de temperatură asupra părţilor unui corp de mărime moleculară.

Mai puţin problematică apare extinderea conceptelor geometriei practice asupra spaţiilor de mărime cosmică. S-ar putea desigur obiecta că o construcţie formată din

vergele rigide se îndepărtează cu atât mai mult de idealul rigidităţii cu cât întinderea ei spaţială este mai mare. Cu greu s-ar putea însă atribui o semnificaţie principială acestei obiecţii. De aceea, întrebarea dacă lumea este spaţial finită sau nu mi se pare o problemă pe de-a-ntregul rezonabilă în sensul geometriei practice. Nici măcar nu mi se pare exclus ca, într-un viitor previzibil, această întrebare să primească un răspuns din partea astronomiei. Să ne reamintim ce ne învaţă în această privinţă teoria generală a relativităţii. Potrivit ei există două posibilităţi:

Nu vreau să trec cu vederea că pentru ipoteza finităţii lumii poate fi revendicat un temei teoretic. Teoria generală a relativităţii arată că inerţia unui anumit corp este cu atât mai mare cu cât în vecinătatea să se găseşte mai multă masă ponderabilă; de aceea pare foarte firesc să reducem întreaga inerţie a unui corp la interacţiuni între el şi celelalte corpuri ale lumii, tot aşa cum, încă de la Newton, greutatea a fost în întregime redusă la interacţiuni între corpuri. Din ecuaţiile teoriei generale a relativităţii se poate deduce că această reducere totală a inerţiei la interacţiunea dintre mase aşa cum a cerut-o, de exemplu, Emst Mach este cu putinţă numai dacă lumea este spaţial finită.

Acest argument nu are nici o înrâurire asupra multor fizicieni şi astronomi. Dacă, în cele din urmă, numai experienţa poate decide care din cele două posibilităţi se realizează în natură, se pune întrebarea: cum poate experienţa să ofere un răspuns? S-ar putea crede, mai întâi, că densitatea medie a materiei ar putea fi determinată prin observarea părţii din univers accesibile percepţiei noastre. Această nădejde este înşelătoare. Distribuţia stelelor vizibile este deosebit de neregulată, astfel încât în nici un caz nu putem cuteza să echivalăm densitatea medie a materiei stelare în univers cu densitatea medie a Căii Lactee. Şi, oricât de mare ar fi spaţiul cercetat, putem întotdeauna bănui că în afara acestui spaţiu mai există şi

alte stele. O evaluare a densităţii medii ne apare, aşadar, drept exclusă.

Există şi o a doua cale, ce mi se pare mai accesibilă, chiar dacă este şi ea presărată cu mari greutăţi. Dacă ne întrebăm care sunt abaterile consecinţelor teoriei generale a relativităţii faţă de teoria lui Newton, abateri accesibile observaţiei noastre, rezultă mai întâi o abatere ce se produce la o mare apropiere de masa gravitaţională, o abatere care a putut fi confirmată în cazul planetei Mercur. Pentru cazul în care lumea este spaţial finită există şi o a doua abatere faţă de teoria newtoniană, care se poate exprima astfel în limbajul teoriei newtoniene: Câmpul gravitaţional este în aşa fel alcătuit, încât pare să fi fost generat, în afară de masa ponderabilă şi de o densitate a masei cu semn negativ care este repartizată uniform în spaţiu. Deoarece această masă imaginară trebuie să fie extrem de mică, ea ar putea fi observată numai în sistemele gravitaţionale de mare întindere.

Să presupunem că am cunoaşte repartiţia statistică a stelelor în Calea Lactee, ca şi masa acestora. Atunci am putea calcula, după legea lui Newton, câmpul gravitaţional ca şi viteza medie pe care trebuie să o aibă stelele pentru ca, datorită interacţiunii lor, Calea Lactee să nu se prăbuşească, ci să-şi menţină întinderea. Dacă însă vitezele medii reale ale stelelor ce se pot măsura ar fi mai mici decât cele calculate, am avea probă că atracţiile reale la distanţe mari sunt mai mici decât cele conforme legii lui Newton. Printr-o asemenea abatere s-ar putea dovedi indirect caracterul finit al lumii şi s-ar evalua chiar şi mărimea ei spaţială.

NOTE.

MECANICA LUI NEWTON ŞI INFLUENŢA EI ASUPRA EVOLUŢIEI FIZICII TEORETICE.

Se împlinesc în aceste zile două sute de ani de când Newton a închis ochii pentru totdeauna. Într-un asemenea moment simţim nevoia să evocăm memoria acestui spirit

luminos, care a determinat structurile gândirii, cercetării şi practicii occidentale aşa cum n-a făcut-o nimeni înaintea lui sau după el. Newton n-a fost doar un genial descoperitor al unor metode speciale de o mare semnificaţie, el a dominat, de asemenea, într-o manieră unică faptele empirice cunoscute la acea vreme şi a fost fantastic de inventiv în privinţa metodelor matematice sau fizice de demonstraţie aplicabile în situaţii fizice particulare. Pentru toate acestea el este demn de veneraţia noastră cea mai profundă. Figura lui Newton are însă o importanţă şi mai mare decât cea care ţine de geniul său intrinsec, datorită faptului că destinul l-a plasat într-un punct crucial al istoriei spiritului uman. Pentru a ne da seama în mod clar de aceasta, trebuie să ne reamintim că înaintea lui Newton nu exista un sistem bine definit al cauzalităţii fizice capabil de a reprezenta vreuna dintre cele mai adânci trăsături ale lumii fizice.

După cum se ştie, marii materialişti ai antichităţii greceşti au pretins că toate procesele materiale să fie reduse la desfăşurarea logică a mişcărilor atomilor, reglată strict, fără a admite intervenţia voinţei fiinţelor vii drept cauză de sine stătătoare. De asemenea, Descartes a reluat în modul său specific acest proiect. Dar el a rămas o dorinţă îndrăzneaţă, idealul problematic al unei şcoli filozofice. Rezultate reale, apte de a da un temei ideii existenţei unui lanţ neîntrerupt al cauzalităţii fizice, nu existau deloc înaintea lui Newton.

Scopul lui Newton a fost să răspundă la întrebarea: există o regulă simplă după care să se poată calcula în mod complet mişcările corpurilor cereşti din sistemul nostru planetar, atunci când se cunoaşte starea de mişcare a tuturor acestor corpuri la un moment dat? Legile empirice ale lui Kepler cu privire la mişcarea planetelor, stabilite pe baza observaţiilor lui Tycho Brahe, fuseseră deja enunţate şi necesitau o explicaţie*. Aceste legi, este adevărat, dădeau un răspuns complet la întrebarea cum se mişcă planetele în jurul Soarelui (forma de elipsă a orbitelor, egalitatea ariilor

pe care le parcurge raza în timpi egali, relaţia dintre semiaxele mari şi perioada de rotaţie în jurul Soarelui). Dar aceste reguli nu satisfăceau exigenţa cauzalităţii. Ele reprezintă trei reguli logic independente, fără vreo conexiune internă reciprocă. Legea a treia nu poate fi pur şi simplu aplicată în mod cantitativ altor corpuri centrale decât Soarelui (nu există, cu alte cuvinte, nici o relaţie între perioada de rotaţie a unei planete în jurul Soarelui şi aceea a unui satelit în jurul planetei sale). Totuşi, aspectul cel mai important este următorul: aceste legi se referă la mişcarea luată ca întreg şi nu la problema modului în care o stare a mişcării unui sistem o generează pe cea care urmează în mod nemijlocit în timp; aceste legi sunt, cum spunem astăzi, legi integrale şi nu legi diferenţiale.

Legea diferenţială este singura formă care satisface pe deplin exigenţa cauzalităţii proprie fizicianului modern. Conceperea clară a legii diferenţiale este una dintre cele mai mari realizări intelectuale ale lui Newton. Pentru aceasta este necesar nu doar gândul lui, ci şi un forAstăzi toată lumea ştie ce muncă imensă a necesitat descoperirea acestor legi pornind de la orbitele constatate empiric. Dar puţini reflectă asupra metodei geniale prin care Kepler a dedus orbitele reale pornind de la cele aparente, adică de la cele date de observaţiile efectuate de pe Pământ (n.t.).

Malism matematic, care, e drept, exista într-o formă rudimentară, dar care cerea o formă sistematică. Newton a găsit şi acest formalism prin calcul diferenţial şi integral. Nu vom discuta aici dacă Leibniz a ajuns la aceleaşi metode matematice independent de Newton sau nu. În orice caz, pentru Newton perfecţionarea acestora a reprezentat o necesitate, deoarece numai ele i-ar fi putut oferi instrumentul adecvat pentru exprimarea ideilor sale.

Galilei făcuse deja un pas important în cunoaşterea legilor mişcării. El a descoperit legea inerţiei şi legea căderii libere a corpurilor în câmpul gravitaţional al Pământului: o masă (mai exact, un punct material) care nu e supusă influenţelor

altor mase se mişcă uniform şi rectiliniu în câmpul de gravitaţie al Pământului; viteza unui corp în cădere liberă verticală creşte proporţional cu timpul. Astăzi, s-ar putea să ni se pară că doar un mic pas desparte legea de mişcare a lui Newton de descoperirile lui Galilei. Trebuie însă să observăm că cele două enunţuri de mai sus se referă, prin forma lor, la mişcare ca întreg, pe când legea de mişcare a lui Newton oferă un răspuns la întrebarea: cum se exprimă starea de mişcare a unui punct material într-un timp infinit de mic sub influenţa unei forţe exterioare? Numai prin trecerea la considerarea fenomenelor într-un timp infinit mic (legea diferenţială) a ajuns Newton la acea formulare care este valabilă pentru orice fel de mişcări. El a împrumutat ideea de forţă din ştiinţa extrem de dezvoltată a staticii. Pentru el conexiunea dintre forţă şi acceleraţie a devenit posibilă numai prin introducerea noului concept al masei care, în mod curios, se întemeia pe o pseudo-definiţie. Astăzi suntem atât de obişnuiţi cu formarea unor concepte ce corespund unor derivate, încât nu mai putem aprecia ce remarcabilă putere de abstracţie a fost necesară pentru a obţine legea diferenţială generală a mişcării printr-o derivare de ordinul doi, în timp ce conceptul de masă trebuia, mai întâi, inventat.

Cu aceasta ne aflăm încă departe de obţinerea unei înţelegeri cauzale a proceselor de mişcare. Deoarece mişcarea era determinată prin ecuaţia de mişcare numai în cazul în care forţa era dată. Inspirat probabil de legităţile mişcării planetelor, Newton a conceput ideea că forţa ce acţionează asupra unei mase e determinată de poziţia tuturor maselor situate la o distanţă suficient de mică de masa respectivă. Numai după ce această relaţie a fost cunoscută, a devenit posibilă o înţelegere pe deplin cauzală asupra proceselor mişcării. Este cunoscut modul în care Newton, pornind de la legile mişcării planetelor ale lui Kepler, a rezolvat această problemă pentru gravitaţie, descoperind astfel identitatea de natură dintre forţele

motrice ce acţionează asupra astrelor şi gravitaţie. Numai prin combinarea Legii mişcării cu Legea atracţiei s-a constituit acest minunat edificiu de gândire ce face posibilă calcularea stării trecute şi a celei viitoare a unui sistem din starea sa la un moment dat, în măsura în care evenimentele se produc numai sub influenţa forţelor gravitaţionale. Unitatea logică a sistemului conceptual a lui Newton constă în aceea că singurele lucruri care apar drept cauze ale acceleraţiei maselor unui sistem sunt înseşi aceste mase.

Pe temeiul acestor principii schiţate aici, Newton a reuşit să explice mişcarea planetelor, sateliţilor şi a cometelor până în cele mai mici amănunte, apoi fluxul şi refluxul, mişcarea de precesie a Pământului o realizare deductivă de o măreţie unică. O mare admiraţie a produs descoperirea identităţii dintre cauzele mişcării corpurilor cereşti şi greutate, fenomen cu care suntem astăzi atât de obişnuiţi în viaţa cotidiană.

Importanţa realizării lui Newton nu s-a limitat însă la faptul că el a creat o bază efectivă şi logic satisfăcătoare pentru ştiinţa mecanică; până la sfârşitul secolului al XIX-lea aceasta a constituit programul oricărei cercetări desfăşurate în domeniul fizicii teoretice. Toate fenomenele fizice trebuiau reduse la mase ce se supuneau legilor newtoniene de mişcare. Legea forţei trebuia pur şi simplu extinsă şi aplicată orice tip de fapte considerate. Newton însuşi a încercat să aplice acest program în optică, presupunând că lumina consistă din corpuscule inerte. Însăşi teoria opticii ondulatorii folosea legea de mişcare a lui Newton, după ce aceasta a fost aplicată maselor răspândite continuu. Ecuaţiile de mişcare ale lui Newton reprezentau unica bază pentru teoria cinetică a căldurii, care nu numai că a pregătit terenul pentru descoperirea legii conservării energiei, dar a condus, de asemenea, la o teorie a gazelor care a fost confirmată până în cele mai mici detalii şi la o idee mai profundă asupra naturii legii a doua a termodinamicii. Teoria electricităţii şi magnetismului s-a

dezvoltat, de asemenea, până în vremurile moderne sub imperiul ideilor fundamentale ale lui Newton (substanţă electrică şi magnetică, forţe ce acţionează la distanţă). Chiar şi revoluţia produsă în electrodinamică şi optică de Faraday şi Maxwell, care a reprezentat primul mare progres principial la nivelul fundamentelor fizicii teoretice după Newton, s-a realizat sub totala orientare a ideilor lui Newton. Maxwell, Boltzmann, lordul Kelvin n-au ezitat să reducă câmpurile electromagnetice şi acţiunile lor dinamice reciproce la acţiunea mecanică a unor mase ipotetice răspândite în mod continuu. Totuşi, ca urmare a sterilităţii sau cel puţin a lipsei de succes a acestor eforturi, s-a produs în mod progresiv, încă de la sfârşitul secolului trecut, o revoluţionare a reprezentărilor de bază: fizica teoretică a depăşit cadrul conceptual newtonian care asigurase stabilitatea şi ghidase gândirea ştiinţifică timp de aproape două secole.

Principiile fundamentale ale lui Newton au fost atât de satisfăcătoare din punct de vedere logic, încât impulsul de înnoire nu putea apărea decât sub presiunea unor fapte de experienţă. Înainte de a mă ocupa mai îndeaproape de acest aspect, trebuie să subliniez că însuşi Newton era mult mai conştient de anumite slăbiciuni ale edificiului său intelectual decât au fost generaţiile de savanţi ce l-au urmat. Acest fapt mi-a provocat întotdeauna admiraţie plină de respect. Aş dori de aceea să mă opresc pe scurt asupra acestora.

I. În ciuda faptului că efortul lui Newton de a-şi prezenta sistemul de idei ca fiind în mod necesar determinat de experienţă şi de a introduce cât mai puţine concepte ce nu se referă direct la obiecte empirice este peste tot evident, el a formulat conceptele de spaţiu absolut şi de timp absolut, care i-au fost adesea reproşate în anii noştri. Dar tocmai în acest punct este Newton în mod deosebit consecvent. El a recunoscut faptul că mărimile geometriei observabile (distanţele între punctele materiale) şi evoluţia lor în timp

nu caracterizează în mod complet mişcarea din punct de vedere fizic. El a demonstrat aceasta prin faimosul experiment cu găleata cu apă în rotaţie. Ca urmare, pe lângă mase şi distanţele lor ce variază în timp, trebuie să mai existe ceva care să determine mişcarea. Acest „ceva „a fost considerat de el ca fiind relaţia cu „spaţiul absolut „. El a admis că spaţiul trebuie să posede un gen de realitate fizică pentru ca legile de mişcare formulate de el să poată avea semnificaţie, o realitate de acelaşi gen cu aceea a punctelor materiale şi a distanţelor dintre ele.

Această concepţie clară ne relevă atât înţelepciunea lui Newton cât şi un aspect slab al teoriei sale. Structura logică a acestei teorii ar fi fost cu siguranţă mai satisfăcătoare fără acest concept vag; în acest caz, în formularea legilor ar fi trebuit să apară numai obiecte a căror relaţie cu percepţia era perfect clară (punctele materiale, distanţele).

II. Introducerea forţelor acţionând direct şi instantaneu la distanţă pentru a reprezenta efectele gravitaţiei nu corespunde caracterului majorităţii fenomenelor pe care le cunoaştem din experienţa obişnuită. Newton a răspuns acestei obiecţii indicând că legea să a atracţiei gravitaţionale nu putea să constituie o explicaţie definitivă a fenomenelor, ci doar o regulă derivată prin inducţie din experienţă.

III. Teoria lui Newton nu oferea o explicaţie pentru faptul cu totul straniu că greutatea şi inerţia unui corp sunt determinate de aceeaşi mărime (masa). Natura stranie a acestui fapt l-a frapat şi pe Newton.

Nici unul dintre aceste trei puncte nu constituie o obiecţie logică împotriva teoriei; ele nu reprezintă, într-o anumită măsură, decât deziderate neîmplinite ale spiritului ştiinţific în lupta lui pentru pătrunderea completă şi unitară din gândire a fenomenelor naturale.

Pentru doctrina newtoniană a mişcării, considerată ca program pentru întreaga fizică teoretică, primul şoc a venit din partea teoriei electricităţii a lui Maxwell. A devenit

astfel clar că acţiunile reciproce dintre corpuri datorate forţelor electrice şi magnetice sunt realizate nu prin forţe ce acţionează instantaneu la distanţă, ci prin intermediul unor procese ce se propagă în spaţiu cu viteză infinită. Faraday a introdus, pe lângă punctul material şi mişcarea lui, un nou tip de entitate fizică reală şi anume „câmpul „. S-a încercat mai întâi, pe baza modului de gândire mecanic, să se interpreteze acest nou concept ca o stare mecanică (a mişcării sau a forţei) a unui mediu ipotetic care umple spaţiul (eterul). Dar atunci când, în ciuda celor mai intense eforturi, această interpretare a eşuat, oamenii au trebuit să accepte treptat câmpul electromagnetic, ca ultimă cărămidă de construcţie ireductibilă a realităţii fizice. Îi datorăm lui H. Hertz eliberarea conceptului de câmp de orice accesoriu provenind din arsenalul concepţiei mecanice şi lui H. A. Lorentz eliberarea de orice purtător material, singurul purtător al câmpului rămânând spaţiul fizic vid (sau eterul), care nici în mecanica lui Newton nu era deposedat de orice funcţie fizică. În momentul în care această evoluţie se încheiase, nimeni nu mai credea în forţe care acţionează nemijlocit şi instantaneu la distanţă, nici chiar în domeniul gravitaţiei, chiar dacă pentru aceasta nu se schiţase încă o teorie de câmp indiscutabilă, din lipsa unor cunoştinţe empirice suficiente. Evoluţia teoriei electromagnetice a câmpului a condus de îndată ce ipoteza newtoniană a forţelor ce acţionează la distanţă a fost abandonată la tentativa de a explica legea de mişcare newtoniană în termenii electromagnetismului, respectiv de a o înlocui printr-una mai exactă, fundată pe teoria câmpului. Deşi aceste încercări n-au dus la un succes deplin, conceptele fundamentale ale mecanicii au încetat să mai fie considerate ca piatră de temelie a imaginii lumii fizice.

Teoria Maxwell–Lorentz a condus în mod necesar la teoria specială a relativităţii, care, abandonând ideea simultaneităţii absolute, a exclus existenţa unor forţe ce

acţionează la distanţă. Din această teorie a rezultat că masa nu mai reprezintă o mărime invariabilă, ci una care depinde de (fiind echivalentă cu) mărimea conţinutului de energie. Ea a arătat, de asemenea, că legea de mişcare a lui Newton va trebui considerată ca o legelimită aplicabilă numai pentru viteze mici; în locul ei a fost introdusă o nouă lege de mişcare în care viteza luminii în vid intervine ca o viteză-limită.

Teoria generală a relativităţii a reprezentat ultimul pas în dezvoltarea programului teoriei câmpului. Din punct de vedere cantitativ ea a modificat foarte puţin teoria lui Newton, dar din punct de vedere calitativ ea i-a adus modificări mult mai profunde. Inerţia, gravitaţia şi comportarea metrică a corpurilor şi ceasurilor au fost reduse la o calitate unitară a câmpului; acest câmp, la rândul lui, a fost pus în dependenţă de corpuri (generalizarea legii gravitaţiei a lui Newton, respectiv a legii câmpului care-l corespundea, aşa cum a fost formulată de Poisson). Prin aceasta timpul şi spaţiul au fost deposedate nu de realitatea lor, ci de caracterul lor de absolut cauzal (un absolut ce influenţa materia, dar nu era afectat de influenţa ei), pe care Newton a fost obligat să li-l acorde pentru a putea formula legile cunoscute atunci. Legea generalizată a inerţiei preia rolul legii de mişcare a lui Newton. Această scurtă explicaţie e suficientă pentru a evidenţia modul în care elementele teoriei newtoniene sunt transferate în teoria generală a relativităţii prin care cele trei defecte semnalate mai sus sunt depăşite. Este posibil ca, în cadrul acestei ultime teorii, legea de mişcare să poată fi dedusă din legea câmpului corespunzătoare legii newtoniene a forţelor. Numai după ce se va realiza acest obiectiv se va putea vorbi de o teorie pură a câmpului.

Mecanica lui Newton a deschis drumul pentru teoria câmpului şi într-un sens mai formal. Aplicarea mecanicii lui Newton unor mase ce se distribuie în mod continuu a condus în mod necesar la descoperirea şi folosirea

ecuaţiilor diferenţiale parţiale (Einstein foloseşte aici expresia „ecuaţii diferenţiale parţiale „pentru ecuaţii diferenţiale cu derivate parţiale n.t.), care, la rândul lor, ar fi putut oferi prima expresie adecvată legilor teoriei câmpului. Din punct de vedere formal, concepţia lui Newton asupra legii diferenţiale a reprezentat primul pas decisiv pentru dezvoltarea ulterioară.

Întreaga evoluţie a ideilor noastre despre procesele naturii de care am vorbit mai sus poate fi privită ca o dezvoltare organică a ideilor lui Newton. Dar, în timp ce procesul perfecţionării teoriei câmpului se află încă în plină desfăşurare, descoperirea radiaţiei termice, spectrele, radioactivitatea etc. au pus în evidenţă o limită a posibilităţii de a utiliza întregul sistem de idei, limită ce ne apare încă şi azi de netrecut, în ciuda succesului imens înregistrat în rezolvarea unor aspecte particulare. Mulţi fizicieni susţin şi au argumente puternice că în faţa acestor fapte eşuează nu doar legea diferenţială, ci însăşi legea cauzalităţii până în prezent postulatul fundamental al întregii ştiinţe. Este negată însăşi posibilitatea unei construcţii spaţio-temporale care ar putea fi pusă în corespondenţă în mod univoc cu procesele fizice. Faptul că un sistem mecanic admite doar valori discrete sau stări discrete ale energiei aşa cum rezultă direct din experienţă pare la prima vedere greu de dedus dintr-o teorie de câmp care operează cu ecuaţii diferenţiale. Metoda L. de Broglie–Schrödinger, care într-un anumit sens are caracterul unei teorii de câmp, deduce într-adevăr pe baza ecuaţiilor diferenţiale, printr-un gen de consideraţii de rezonanţă, doar existenţa unor stări discrete, într-un uimitor acord cu faptele de experienţă. Dar această metodă trebuie să renunţe la localizarea particulelor materiale şi la legi strict cauzale. Cine îşi îngăduie însă azi să decidă dacă legea cauzalităţii şi legea diferenţială, aceste premise ultime ale concepţiei newtoniene asupra naturii, vor trebui definitiv abandonate?

JOHANNES KEPLER.

În epoci pline de griji şi frământate cum este epoca noastră, când cu greu pot fi găsite motive de bucurie legate de oameni şi de desfăşurarea activităţilor umane, ne putem consola evocând amintirea unui om atât de mare şi senin cum a fost Kepler. El a trăit într-o vreme când existenţa unei legităţi generale privind desfăşurarea fenomenelor naturale nu era în nici un caz acceptată fără rezerve. Cât de mare trebuie să fi fost credinţa în această legitate pentru ca ea să-l fi dat forţa necesară de a consacra, în siguranţă, zeci de ani unei munci dificile şi răbdătoare de cercetare empirică a mişcării planetelor şi a legilor matematice ale acestei mişcări, fără a avea nici sprijin şi nici înţelegere din partea contemporanilor. Dacă dorim să-l cinstim cum se cuvine memoria, va trebui să ne reprezentăm clar problema cu care s-a confruntat şi să stabilim cât mai exact stadiile rezolvării ei.

Copernic atrăsese deja atenţia celor mai înalte spirite asupra faptului că am putea dobândi o înţelegere clară amişcărilor aparente ale planetelor considerând aceste mişcări drept mişcări de rotaţie ale planetelor în jurul Soarelui, presupus imobil. Dacă planetele s-ar mişca uniform şi în cerc în jurul Soarelui situat în centru, ar fi relativ uşor să se descopere cum arată de pe Pământ aceste mişcări. Cum însă era vorba de fenomene mult mai complicate, problema s-a dovedit a fi mult mai dificilă. Primul lucru ce trebuie făcut era să se determine aceste mişcări în mod empiric din observaţiile lui Tycho Brahe asupra planetelor. Numai atunci se putea pune problema de a descoperi legile generale pe care le satisfac aceste mişcări.

Pentru a sesiza cu câtă greutate puteau fi determinate mişcările reale de rotaţie, va trebui să ne edificăm asupra următoarei situaţii: nu putem vedea niciodată unde se găseşte efectiv o planetă într-un moment anumit, ci doar în ce direcţie este ea observată de pe Pământ, acesta din urmă descriind, la rândul lui, o curbă de natură

necunoscută în jurul Soarelui. Dificultăţile păreau deci insurmontabile.

Kepler a trebuit să descopere o cale pentru a introduce ordinea în acest haos. El a înţeles că, în primul rând, trebuia determinată mişcarea Pământului. Acest lucru ar fi fost pur şi simplu imposibil, dacă ar fi existat doar Soarele, Pământul şi stelele fixe, nu însă şi celelalte planete, deoarece în acest caz nu s-ar fi putut determina empiric decât modul cum se modifică în timpul anului direcţia dreptei care leagă Pământul şi Soarele (mişcarea aparentă a Soarelui în raport cu stelele fixe). Se putea descoperi astfel că toate aceste direcţii Soare–Pământ se află într-un plan staţionar în raport cu stelele fixe, cel puţin în conformitate cu precizia observaţiilor efectuate în acele vremi, când nu existau telescoape. Pe această cale se putea determina, de asemenea, în ce fel se roteşte în jurul Soarelui linia de legătură Soare–Pământ. S-a constatat că viteză unghiulară a acestei mişcări se modifică regulat în timpul anului. Dar aceasta nu putea fi încă de mare ajutor atâta timp cât nu se cunoştea variaţia anuală a distanţei Soare–Pământ. Numai atunci când aceste modificări anuale au fost cunoscute, s-a descoperit forma reală a orbitei Pământului precum şi modul în care este descrisă aceasta.

Kepler a găsit o cale admirabilă de a ieşi din această dilemă. Mai întâi, din observaţiile asupra Soarelui rezulta că viteza mersului aparent al Soarelui în raport cu fondul stelelor fixe era diferită în diferite perioade ale anului, dar că viteză unghiulară a acestei mişcări era mereu aceeaşi în aceeaşi perioadă a anului astronomic şi, ca urmare, viteza de rotaţie a liniei drepte de legătură Soare–Pământ era întotdeauna aceeaşi dacă era raportată la aceeaşi regiune a stelelor fixe. Se putea deci admite că orbita Pământului, pe care Pământul o parcurge în acelaşi fel în fiecare an, era o orbită închisă în sinefapt ce nu era evident a priori. Pentru partizanii sistemului lui Copernic devenea aproape cert că

această explicaţie trebuie să fie valabilă şi pentru orbitele celorlalte planete.

Aceasta constituia deja un pas înainte. Dar cum să se determine forma reală a orbitei Pământului? Să ne imaginăm prezenţa într-un loc al planului orbitei a unei lanterne puternice M, despre care ştim că rămâne permanent în acelaşi loc şi formează astfel un gen de punct fix de triangulaţie pentru a se determina orbita Pământului, un punct pe care locuitorii Pământului l-ar putea viza în fiecare perioadă a anului. Să admitem că această lanternă M se află la o distanţă mai mare de Soare decât de Pământ. Cu ajutorul unei asemenea lanterne se putea determina orbita Pământului şi anume în felul următor:

Mai întâi, în fiecare an există un moment când Pământul P se află exact pe linia care leagă Soarele S şi lanterna M. În acel moment, vizând de pe Pământul P lanterna M, linia astfel obţinută va fi în acelaşi timp direcţia SM (Soare–Lanternă). Să admitem că această direcţie va fi marcată pe cer. Apoi să ne imaginăm Pământul într-o poziţie diferită şi la un moment diferit. Deoarece atât lanterna M, cât şi Soarele S, pot fi văzute de pe Pământ, unghiul P din triunghiul SPM ar putea fi cunoscut. Dar, prin observaţii directe asupra Soarelui, noi cunoaştem de asemenea şi direcţia lui SP în raport cu stelele fixe, în timp ce direcţia liniei de legătură SM în raport cu stelele fixe a fost determinată dinainte pentru totdeauna. Dar în triunghiul SPM cunoaştem şi unghiul S. Ca urmare, alegând în mod liber o bază SM, putem trasa pe hârtie triunghiul SPM: pe baza cunoaşterii unghiurilor P şi S. Putem repeta acest lucru la intervale diferite în cursul anului; de fiecare dată vom obţine pe hârtie o localizare a Pământului P cu momentul temporal corespunzător în raport cu linia de bază SM stabilită o dată pentru totdeauna. Orbita Pământului va fi astfel determinată empiric, nu însă şi dimensiunea ei absolută.

Dar, veţi întreba, de unde a luat Kepler această lanternă? Geniul său şi natura, binevoitoare în acest caz, i-au oferit-o. Exista, de exemplu, planeta Marte a cărei revoluţie anuală era cunoscută. Se ajunge uneori ca Pământul, Soarele şi Marte să se afle exact în linie dreaptă şi această poziţie a lui Marte se repetă după fiecare an marţian, deoarece Marte parcurge o traiectorie închisă. În aceste momente cunoscute, SM reprezintă întotdeauna aceeaşi linie de bază, în timp ce Pământul se află mereu într-un alt punct al orbitei sale. Observaţiile asupra Soarelui şi asupra lui Marte, în momentele respective, furnizează ca urmare un mijloc de a determina orbita adevărată a Pământului, planeta Marte jucând atunci rolul lanternei noastre fictive. Astfel a descoperit Kepler forma adevărată a orbitei Pământului şi modul în care acesta o descrie; nouă tuturor celorlalţi născuţi mai târziu, europeni, germani sau şvabi nu ne rămâne decât să-l admirăm şi să-l preţuim pentru aceasta.

O dată determinată empiric orbita Pământului, puteau fi cunoscute poziţia şi lungimea reale ale liniei SP în orice moment; pentru Kepler nu mai era atât de dificil să calculeze, pe baza observaţiilor, orbitele şi mişcările celorlalte planete, cel puţin în principiu. A fost necesară desigur o muncă imensă, mai ales dacă ţinem seama de stadiul de atunci al matematicii.

Rămânea cea de-a doua parte, nu mai puţin dificilă, a operei căreia Kepler îi dedicase întreaga sa viaţă. Orbitele erau cunoscute empiric, mai trebuiau deduse legile lor din aceste date empirice. Trebuia formulată o ipoteză asupra naturii matematice a curbei descrise de orbită şi, după aceea, verificată pe baza imensului număr de date; dacă rezultatele nu concordau, se imagină o nouă ipoteză şi se reluă verificarea. După nesfârşite căutări, o ipoteză confirmată: orbita este o eclipsă; în centrul ei se află Soarele. El a găsit şi legea potrivit căreia viteza se modifică în timpul rotaţiei, în aşa fel încât linia planetă–Soare

acoperă suprafeţe egale în intervale de timp egale. În fine, Kepler a descoperit că pătratele perioadelor de revoluţie sunt proporţionale cu cuburile axelor mari ale elipselor.

Admiraţia noastră faţă de acest om sublim se împleteşte cu un alt sentiment de admiraţie şi de veneraţie, care însă nu mai e legat de o fiinţă umană, ci de misterioasa armonie a naturii în care ne-am născut. Încă din Antichitate, oamenii au imaginat curbe ale celor mai simple legi posibile: printre acestea, pe lângă linia dreaptă şi cercul, elipsa şi hiperbola. Pe acestea din urmă le regăsim cel puţin cu o bună aproximaţie în orbitele corpurilor cereşti.

S-ar părea că raţiunea umană trebuie să construiască mai întâi, independent, formele, înainte de a le putea dovedi existenţa în natură. Din minunata operă de-o viaţă a lui Kepler înţelegem clar că experienţa simplă nu poate genera cunoaşterea, aceasta fiind produsă doar prin compararea creaţiilor spiritului cu faptele observaţiei.

INFLUENŢA LUI MAXWELL ASUPRA EVOLUŢIEI CONCEPŢIEI DESPRE REALITATEA FIZICĂ.

Credinţa într-o lume exterioară independentă de subiectul cunoscător stă la baza întregii ştiinţe a naturii. Întrucât percepţiile ne dau numai o informaţie indirectă asupra acestei lumi exterioare sau asupra realităţii fizice (Physikalisch-Realen), aceasta nu poate fi sesizată de noi decât pe o cale speculativă. De aici decurge că concepţiile noastre asupra realităţii fizice nu pot fi niciodată definitive. Trebuie să fim permanent pregătiţi să schimbăm aceste concepţii adică fundamentul axiomatic al fizicii pentru a fi în acord cu faptele într-o modalitate perfectă din punct de vedere logic. De fapt, o privire sumară asupra dezvoltării fizicii ne arată că acest fundament axiomatic a suferit de-a lungul timpului modificări profunde. [21]

Cea mai mare schimbare a bazei axiomatice a fizicii, cu alte cuvinte a concepţiei noastre cu privire la structura realităţii, de la întemeierea fizicii teoretice prin Newton, a fost provocată de cercetările lui Faraday şi Maxwell asupra

fenomenelor electromagnetice. În cele ce urmează vom încerca să prezentăm mai exact acest fapt examinând atât evoluţia anterioară a ideilor, cât şi pe cea ulterioară.

În sistemul lui Newton realitatea fizică este caracterizată prin conceptele de timp, spaţiu, punct material şi forţă (acţiune reciprocă a punctelor materiale). Fenomenele fizice trebuie considerate, după Newton, mişcări ale punctelor materiale în spaţiu guvernate de legi determinate. Punctul material este singurul mod de a reprezenta realitatea în măsura în care aceasta se află în mişcare.

Corpurile perceptibile au constituit, evident, punctul de plecare în formarea conceptului punctului material; acesta a fost imaginat că un analog al corpurilor mobile, abstracţie făcând de formă, întindere, orientare în spaţiu, de toate proprietăţile „intrinseci „, păstrând doar inerţia şi translaţia şi adăugând ideea de forţă. Corpurile materiale, care au provocat psihologic formarea conceptului de „punct material „, au fost considerate, la rândul lor, ca sisteme de puncte materiale. Trebuie să menţionăm că acest sistem teoretic este în esenţa sa atomist şi mecanic. Orice fenomen trebuie conceput pur mecanic, adică în termenii mişcărilor simple ale punctelor materiale după legile de mişcare ale lui Newton.

Aspectul cel mai puţin satisfăcător al acestui sistem teoretic (lăsând la o parte dificultăţile implicate de conceptul de „spaţiu absolut „, rediscutate în ultima vreme) apare în special în teoria luminii, pe care Newton o concepea, în conformitate cu sistemul său, ca fiind compusă din puncte materiale. Încă de pe atunci se punea acut întrebarea: ce devin punctele materiale din care e compusă lumina atunci când aceasta este absorbită? Introducerea unor puncte materiale de tipuri diferite, postulate pentru a reprezenta materia ponderabilă, pe de o parte şi lumina, pe de altă parte, nu putea constitui o soluţie satisfăcătoare. Mai târziu acestora li s-au adăugat corpusculii electrici ca

un al treilea tip, având, la rândul lui, caracteristici fundamental diferite. O altă slăbiciune a fundamentelor sistemului newtonian consta în aceea că forţele acţiunii reciproce prin care sunt determinate evenimentele trebuiau admise ipotetic într-o manieră absolut arbitrară. Cu toate acestea, concepţia newtoniană asupra realităţii a fost deosebit de fecundă; cum se face că oamenii de ştiinţă s-au simţit tentaţi s-o abandoneze?

Pentru a putea da în general o formă matematică sistemului său, Newton a trebuit să inventeze noţiunea de derivată şi să stabilească legile mişcării în forma ecuaţiilor diferenţiale totale realizând astfel, poate, cel mai mare progres îngăduit gândirii vreunui om. Ecuaţiile diferenţiale parţiale nu erau necesare pentru aceasta; de aceea Newton nu le-a folosit în mod sistematic. Ele au devenit însă necesare pentru formularea mecanicii corpurilor deformabile, datorită faptului că, în aceste probleme, modul în care se presupunea că respectivele corpuri sunt construite din puncte materiale nu avea nici o importanţă.

Astfel, ecuaţia diferenţială parţială a intrat în fizica teoretică în chip de servitoare, pentru a deveni treptat stăpâna. Aceasta a început în secolul al XIX-lea, când, sub presiunea faptelor observate, s-a impus teoria ondulatorie a luminii. Lumina în spaţiul vid a fost interpretată prin vibraţiile eterului şi se părea că nu are nici un rost ca, la rândul său, eterul să fie conceput şi el ca un conglomerat de puncte materiale. Aici ecuaţia diferenţială parţială a apărut pentru prima oară ca expresia naturală a elementarului în fizică. Astfel câmpul continuu a intervenit, într-un domeniu particular al fizicii teoretice, alături de punctul material, ca reprezentant al realităţii fizice. Acest dualism se păstrează şi astăzi, apărând ca un factor deranjant pentru orice spirit sistematic.

Dacă ideea de realitate fizică a încetat de a mai fi pur şi simplu atomistă, ea a rămas totuşi, înainte de toate, pur mecanică; s-a încercat în continuare să se interpreteze

orice fenomen ca o mişcare a maselor inerte, ba chiar se părea că nici nu s-ar putea imagina un alt fel de a privi lucrurile. Atunci a intervenit marea schimbare, care va rămâne legată de numele lui Faraday, Maxwell şi Hertz. Partea leului în această revoluţie i-a revenit lui Maxwell. El a arătat că tot ceea ce se cunoştea atunci despre lumină şi despre fenomenele electromagnetice se exprimă în bine cunoscutul său dublu sistem de ecuaţii diferenţiale parţiale, în care câmpurile electric şi magnetic apăreau ca variabile dependente. Într-adevăr, Maxwell a încercat să fundamenteze, respectiv să justifice, aceste ecuaţii cu ajutorul modelelor (construcţiilor) mecanice ideale.

El s-a servit în acelaşi timp de mai multe asemenea construcţii fără a lua prea în serios vreuna dintre ele,

Astfel încât ecuaţiile păreau să fie lucrul esenţial, iar forţele cimpurilor ce interveneau în acestea deveneau entităţi elementare ireductibile.2 La răscrucea secolelor, concepţia asupra câmpului electromagnetic ca entitate ultimă se impusese deja într-o manieră generală, teoreticienii cei mai riguroşi nemaiacordând încredere justificării sau posibilităţii de fundamentare mecanică a ecuaţiilor lui Maxwell. În ultima vreme s-a încercat chiar, invers, să se explice punctele materiale şi inerţia lor în cadrul teoriei lui Maxwell cu ajutorul ideilor de câmp, fără ca aceste eforturi să fi fost însă încununate de un succes definitiv. [23]

Dacă, făcând abstracţie de rezultatele particulare importante pe care munca de o viaţă a lui Maxwell le-a adus în principalele domenii ale fizicii, ne vom concentra atenţia asupra schimbării provocate de el în concepţia asupra naturii realităţii fizice, am putea spune: înainte de Maxwell oamenii concepeau realitatea fizică în măsura în care aceasta se presupune că reprezintă fenomene naturale ca puncte materiale ale căror modificări nu constau decât în mişcări supuse ecuaţiilor diferenţiale totale*; după Maxwell, realitatea fizică este concepută ca fiind reprezentată de

câmpuri continue, inexplicabile în termeni mecanici, supuse ecuaţiilor diferenţiale parţiale. Această schimbare a conceptului de realitate este cea mai profundă şi fertilă schimbare care s-a produs în fizică după Newton. Trebuie totuşi să admitem că această idee programatică n-a fost încă realizată pe deplin. Teoriile fizice stabilite cu succes după aceea reprezintă mai degrabă un gen de compromis între aceste două programe şi tocmai din cauza acestui caracter de compromis ele poartă amprenta provizoriului şi incompletitudinii logice, deşi fiecare, luată în sine, a realizat mari progrese.

Aici trebuie menţionată mai întâi teoria electronică a lui Lorentz, în care corpusculii electrici şi câmpul apăreau, paralel, ca elemente de valoare egală pentru înţelegerea realităţii. Au urmat teoria specială şi teoria generală.

În original apare expresia „parţiale „(„partielles „) (n.t.).

A relativităţii care, deşi se bazează în întregime pe considerarea ideilor teoriei câmpului, n-au putut evita introducerea independentă a punctelor materiale şi a ecuaţiilor diferenţiale totale. [24]

Ultima creaţie cu cel mai mare succes a fizicii teoretice, mecanica cuantică, diferă în fundamentele ei în mod principial de ambele programe pe care le vom numi, pe scurt, newtonian şi maxwellian. Deoarece mărimile care apar în legile ei nu pretind să descrie însăşi realitatea fizică, ci doar probabilităţile apariţiei unei realităţi fizice avute în vedere. Dirac, căruia îi datorăm, după opinia mea, cea mai desăvârşită expunere a teoriei din punct de vedere logic, indică pe bună dreptate faptul că va fi probabil dificil să se ofere o descriere teoretică a unui foton în aşa fel încât ea să ne dea informaţia suficientă pentru a decide dacă el va trece sau nu printr-un polarizor dispus (transversal) în calea sa.

Eu însă continuu să cred că fizicienii nu se vor mulţumi multă vreme cu o asemenea descriere indirectă a realităţii, nici chiar dacă s-ar reuşi adaptarea satisfăcătoare a teoriei

la postulatul relativităţii generale. În acest caz, s-ar putea să se revină la încercarea de a realiza un program pe care l-am putea denumi foarte nimerit maxwellian şi anume, descrierea realităţii fizice prin câmpuri ce satisfac ecuaţii diferenţiale parţiale fără singularităţi. [25]

NOTE.

Cercetătorului, o descriere teoretică perfectă, definitivă, a realităţii fizice nu va fi nicicând posibilă. Pentru dezvoltarea acestor teme, vezi îndeosebi Fizică şi realitatea, Observaţii asupra teoriei cunoaşterii a lui Bertrand Russell, Note autobiografice şi Observaţii asupra articolelor reunite în acest volum.

EPILOG: UN DIALOG SOCRATIC.

Interlocutori: Einstein Max Planck Murphy Notă: Textul care urmează reprezintă o prescurtare a unor însemnări stenografice făcute de un secretar însoţitor în timpul diverselor convorbiri.

Murphy: Lucrez împreună cu prietenul nostru Planck la o carte ce se ocupă în principal de problema cauzalităţii şi a liberului arbitru.

Einstein: Îţi spun cinstit că nu înţeleg ce au în vedere oamenii când vorbesc de liber arbitru. Eu simt, de exemplu, că vreau un lucru sau altul: dar nu pot pricepe câtuşi de puţin ce legătură are asta cu libertatea. Simt că vreau să-mi aprind pipa şi o fac; dar cum pot să leg lucrul acesta de ideea de libertate? Ce stă în spatele actului de a voi să aprinzi pipa? Un alt act de voinţă? Schopenhauer a spus o dată: Der Mensch kann, was er will; er kann aber nicht wollen, was er will (Omul poate face ceea ce vrea, dar nu poate să vrea ceea ce vrea).

Murphy: Acum însă este la modă în fizică să se atribuie un fel de liber arbitru până şi proceselor obişnuite din lumea anorganică.

Einstein: Această absurditate nu e doar o simplă absurditate. Ci este o absurditate supărătoare.

Murphy: Oamenii de ştiinţă, fireşte, îi dau numele de indeterminism.

Einstein: Ascultă! „Indeterminism „e o noţiune cu totul ilogică. Ce înţeleg ei prin indeterminism? Dacă spun că durata medie de viaţă a unui atom radioactiv este de atâta, acesta e un enunţ ce exprimă o anumită ordine, o Gesetzlichkeit*. Dar această idee nu implică prin ea însăşi ideea de cauzalitate. Noi o numim legea mediilor; dar nu orice lege de acest fel trebuie să aibă neapărat o semnificaţie cauzală. În acelaşi timp, dacă spun că durata medie de viaţă a unui asemenea atom este nedeterminată în sensul de a nu avea o cauză, spun un non-sens. Pot să spun că o să mă întâlnesc mâine cu dumneata la un moment nedeterminat. Dar aceasta nu înseamnă că timpul nu este determinat. Fie că eu vin sau nu, timpul va veni. Aici este în joc confuzia ce se face uneori între lumea subiectivă şi lumea obiectivă. Indeterminismul ce aparţine fizicii cuantice este un indeterminism subiectiv. El trebuie să fie legat de ceva, altfel indeterminismul n-are nici un sens; şi aici el se leagă de propria noastră incapacitate de a urmări traiectoriile atomilor individuali şi de a prevedea comportarea lor. [26] A spune că sosirea unui tren la Berlin este nedeterminată înseamnă a spune un non-sens dacă nu spui în raport cu ce este nedeterminată. Dacă trenul soseşte, sosirea e determinată de ceva. Acelaşi lucru este valabil despre traiectoriile atomilor.

Murphy: În acest sens deci aplici dumneata naturii determinismul? În sensul că orice eveniment din natură provine dintr-un alt eveniment, pe care îl numim cauza lui?

Einstein: Nu mi-aş formula ideea chiar în aceşti termeni. În primul rând, cred că neînţelegerile care se întâlnesc în problema cauzalităţii se datorează în bună parte formulării prea rudimentare a principiului cauzalităţii, aflată în circulaţie până în prezent. Când Aristotel şi scolasticii au definit ceea ce ei înţelegeau prin cauză, ideea de experiment obiectiv în sens ştiinţific nu apăruse încă. Aşa se

face că ei s-au mulţumit cu definirea conceptului metafizic de cauză. Acelaşi lucru este adevărat despre Kant. Newton însă pare a-şi fi dat seama că această formulare preştiinţifică a principiului cauzal avea să se dovedească insuficientă pentru fizică modernă. Şi el s-a mulţumit să descrie ordinea regulată în care se petrec evenimentele în natură şi să construiască sinteza sa pe bază de legi matematice. În ce mă priveşte, cred că evenimentele din natură sunt controlate de legi mult mai stricte şi mai inflexibile (closely binding) decât ne închipuim astăzi când spunem că un eveniment este cauza unui alt eveniment. Acest concept al nostru este limitat la ceva ce se petrece înăuntrul unei secţiuni temporale, fiind rupt de procesul întreg. [27] Această aplicare grosso modo a principiului cauzal este cât se poate de superficială. Suntem ca un copil care judecă un poem după rimă, neştiind nimic despre structura ritmică. Sau ca un învăţăcel la pian, care abia izbuteşte să lege o notă de cea imediat anterioară sau următoare. Până la un punct, aceasta poate să fie foarte bine când avem de-a face cu compoziţii foarte simple şi primitive; dar nu mai merge în interpretarea unei fugi de Bach. Fizica cuantică ne-a adus în faţă procese foarte complexe şi, pentru a le putea înţelege, trebuie să lărgim şi să mai rafinăm conceptul nostru de cauzalitate.

Murphy: Ar fi o treabă ingrată, fiindcă ai fi în răspăr cu moda. Dacă-mi dai voie, aş cuvânta şi eu puţin, nu atât fiindcă-mi place să mă aud vorbind, deşi îmi place şi asta care-l irlandezul să nu-l placă? - cât pentru că vreau să aflu reacţiile dumitale la ceea ce voi spune.

Einstein: Gewiss*. Murphy: Grecii au făcut din lucrarea fatalităţii sau a destinului baza dramei lor; iar drama era pe atunci o expresie liturgică a conştiinţei care percepe într-un mod profund iraţional. Nu era o simplă discuţie, ca într-o piesă de Bernard Shaw. Vă amintiţi de tragedia lui Atreu, unde fatalitatea sau şirul ineluctabil de cauze şi efecte este singurul fir simplu de care atârna drama.

Einstein: Fatalitatea sau destinul nu sunt acelaşi lucru cu cauzalitatea.

Fireşte (n.t.).

Murphy: Ştiu asta. Dar oamenii de ştiinţă trăiesc în lume la fel ca ceilalţi oameni. Unii din ei se duc la întruniri politice şi la teatru şi aproape toţi cei pe care eu îi cunosc, cel puţin aici în Germania, citesc literatura curentă. Ei nu se pot sustrage influenţei mediului* în care trăiesc. Iar pentru acest mediu este în prezent foarte caracteristică lupta de eliberare din lanţul cauzal în care este prinsă lumea.

Einstein: Dar n-a luptat omenirea totdeauna pentru a se elibera din acest lanţ cauzal?

Murphy: Da, însă nu asta ne interesează pentru ceea ce vreau să spun. Oricum, mă îndoiesc că politicianul meditează vreodată la consecinţele şirului cauzal pe care-l declanşează cu nebunia sa. El însuşi este foarte agil şi poate să se strecoare printre verigile lanţului. Macbeth n-a fost politician. Şi tocmai de aceea nu i-a mers. El a înţeles că asasinatul s-ar putea să rămână fără urmări pentru el. Numai că nu s-a gândit cum să se smulgă din lanţul consecinţelor înainte de a fi prea târziu. Şi asta fiindcă nu era politician. Ceea ce vreau să spun este că în momentul de faţă există o recunoaştere universală a acestei înlănţuiri inexorabile. Oamenii înţeleg ceea ce le-a spus demult Bernard Shaw lucrul, fireşte, a mai fost spus şi înainte de nenumărate ori când a scris Cezar şi Cleopatra. Îţi aminteşti cuvintele pe care le adresează Cezar reginei Egiptului după ce ordinul ei de ucidere a lui Pothinus a fost executat, cu toate că Cezar garantase că acesta va fi în siguranţă.

„Îi auzi? „, spune Cezar. „Toţi aceştia, care bat la poarta ta, cred de asemenea în trădare şi în ucidere. Le-ai omorât conducătorul; este drept că, la rândul lor, să te ucidă. Dacă te îndoieşti cumva, întreabă pe aceşti patru sfetnici ai tăi, aici de faţă. Şi apoi, în numele acestui «drept» [.] nu va trebui eu să-l omor pentru că şi-au asasinat regina, iar apoi

să fiu omorât, la rândul meu, de către concetăţenii lor fiindcă le-am cotropit patria? Iar atunci Roma va putea face altceva decât să ucidă pe aceşti ucigaşi, spre a arăta lumii că Roma ştie să-şi răzbune fiii şi onoarea? Şi aşa, până la capătul istoriei, asasinatul va zămisli asasinatul, întotdeauna în numele dreptului, al onoarei şi al păcii, până când, în sfârşit, zeii vor fi sătui de atâta sânge şi vor crea o seminţie care să ştie ce înseamnă a înţelege. „*

Oamenii înţeleg astăzi acest adevăr îngrozitor e drept, nu pentru că îşi dau seama că vărsarea de sânge naşte vărsare de sânge, ci pentru că îşi dau seama că jefuindu-ţi vecinul, te jefuieşti pe tine însuţi; căci jaful naşte jaf, întocmai cum o vărsare de sânge naşte alta. Aşa-zişii învingători din război i-au jefuit pe învinşi, iar acum observă că, făcând aşa, s-au jefuit pe ei înşişi. Aşa se face că acum domneşte pretutindeni sărăcia şi suferinţa. Mulţi oameni văd că aşa stau lucrurile, dar n-au curajul să înfrunte acest adevăr, ci aleargă, ca Macbeth, la căldarea vrăjitoarei. În cazul de faţă ştiinţa este, din nefericire, unul din ingredientele ce se aruncă în căldare pentru a le da solventul căutat. În loc să recunoască deschis harababură, tragedia, crima, toată lumea vrea să-şi dovedească inocenţa şi caută dovada încercând să găsească un alibi pentru consecinţele propriilor fapte. Uită-te la acel cortegiu de flămânzi care vin zilnic la uşa ta să ceară pâine. Bărbaţi zdraveni, dornici să beneficieze de privilegiul omului de a munci. Alţii ca ei defilează pe străzile Londrei, purtând pe piept Medalii pentru Comportare Exemplară, strigând să li se dea pâine. Acelaşi spectacol vezi la New York, Chicago, Roma şi Torino. Insul comod ce şade în fotoliul său confortabil îşi zice: „Asta n-are nimic de-a face cu noi. „O spune ştiind că nu acesta este adevărul. Apoi ia o carte de popularizare a fizicii şi scoate un suspin de uşurare aflând de acolo că natura nu Cunoaşte legea consecinţelor. Ce vrei mai mult? Asta e Ştiinţa; iar Ştiinţa este corespondentul modern al religiei. Acest bourgeois comod al dumitale este cel care a înzestrat

instituţiile şi laboratoarele ştiinţifice. Şi, orice ai spune, savanţii n-ar fi oameni dacă nu s-ar împărtăşi şi ei, cel puţin inconştient, din acelaşi spirit. [28]

Einstein: Ach, das kann man nicht sagen. * Murphy: Ba da. Avem tot dreptul s-o spunem. Îţi aminteşti de imaginea pe care chiar dumneata ai zugrăvit-o odată a celor preocupaţi de ei înşişi în templul ştiinţei, oameni despre care admiţi că au construit chiar o mare parte din edificiul ei, dar spui, pe de altă parte, că îngerul din ceruri i-a cruţat pe câţiva. Înclin să cred că lupta ştiinţei constă actualmente în efortul de a feri schema ei de gândire de confuzia pe care spiritul popular tinde s-o introducă în ea. Seamănă îndeaproape cu lupta pe care au dus-o vechii teologi. În Renaştere însă aceştia au cedat modei epocii şi au introdus în ştiinţa lor idei şi metode străine, ceea ce a dus în final la prăbuşirea scolasticii.

Declinul scolasticii datează din momentul când mulţimea s-a apucat să alerge după filozofi şi teologi. Aminteşte-ţi cum lumea dădea năvală la Paris ca să-l asculte pe Abélard, deşi este evident că nu putea să înţeleagă distincţiile lui. Linguşirea publică a contribuit mai mult la căderea lui decât simplele influenţe private. Abélard n-ar fi fost om dacă nu ar fi fost ispitit să se creadă deasupra ştiinţei sale; şi el a cedat ispitei. Nu sunt chiar atât de sigur că astăzi o seamă de savanţi nu se găsesc în aceeaşi postură. Unele din plăsmuirile strălucitoare pe care ei le ţes par foarte asemănătoare cu distincţiile sofistice ale decadenţei scolastice.

Filozofii şi teologii mai vechi erau conştienţi de acest pericol şi au căutat o cale de a-l contracara. Ei aveau corpurile lor de doctrină ezoterică ce erau dezvăluite numai celor iniţiaţi. Acelaşi gen de protecţie îl putem observa astăzi în alte ramuri ale culturii. Biserica catolică a Procedat înţelept menţinându-şi ritualul şi dogmele în formele şi formulările unui limbaj pe care masa credincioşilor nu-l înţelege. Sociologii şi experţii financiari

au un jargon pe care numai ei îl pricep şi care le permite să nu-şi divulge secretele. Într-un mod asemănător este susţinută majestatea Legii, iar arta medicală n-ar putea supravieţui dacă ar prescrie medicamentele şi ar descrie bolile în limbajul de fiecare zi. Dar toate acestea nu contează, fiindcă nici una din aceste ştiinţe sau arte sau meşteşuguri nu este vitală. Ştiinţa fizicii este organic vitală în momentul de faţă şi din acest motiv pare a suferi de.

Einstein: Nimic nu mi se pare însă mai contestabil decât ideea unei ştiinţe făcute pentru oamenii de ştiinţă. Este ceva aproape la fel de rău ca o artă făcută pentru artişti sau ca o religie făcută pentru preoţi. Neîndoielnic că este ceva în ceea ce spui. Şi cred că obiceiul azi la modă de a aplica axiomele ştiinţei fizice la viaţa umană este nu numai total greşit, dar are în el ceva condamnabil. Găsesc că problema cauzalităţii, despre care se discută azi în fizică, nu este un fenomen nou în domeniul ştiinţei. Metoda folosită astăzi în fizica cuantică a trebuit mai demult să fie aplicată în biologie, pentru că procesele biologice din natură nu puteau fi urmărite în aşa fel încât conexiunea lor să fie clară şi din acest motiv regulile biologice au avut întotdeauna un caracter statistic. Şi nu înţeleg de ce ar trebui stârnita atâta zarvă dacă se impune o restrângere a principiului cauzalităţii în fizica modernă, de vreme ce o asemenea situaţie nu e câtuşi de puţin nouă. [29]

Murphy: Fireşte că nu este o situaţie nouă; dar în prezent ştiinţa biologică nu e atât de vitală cum este ştiinţa fizică. Pe oameni nu-l mai preocupă atât de mult dacă descindem sau nu din maimuţe, cu excepţia unor pasionaţi de regnul animal, care consideră că prin ideea descendenţei omului din maimuţă se face o mare nedreptate maimuţelor. Nu mai există astăzi acel interes public pentru biologie de pe vremea lui Darwin şi Huxley. Centrul de greutate al interesului public s-a deplasat spre fizică. Acesta e motivul pentru care publicul reacţionează în felul său la orice nouă formulare din fizică.

Einstein: Sunt întru totul de acord cu prietenul nostru Planck în privinţa poziţiei adoptate faţă de acest principiu, dar trebuie să-ţi aminteşti ce-a spus şi a scris Planck. El admite imposibilitatea de a aplica, în actuala stare de lucruri, principiul cauzal la procesele interne din fizica atomică; dar este hotărât împotriva tezei că din această Unbrauchbarkeit sau inaplicabilitate ar trebui să conchidem că procesul cauzării nu există în realitatea externă. De fapt, Planck n-a adoptat în această din urmă chestiune un punct de vedere deplin formulat. El a contrazis doar susţinerile emfatice ale unora din teoreticienii mecanicii cuantice şi eu sunt întru totul de acord cu el. Iar când dumneata îmi citezi oameni care vorbesc de liber arbitru în natură, îmi vine greu să găsesc o replică potrivită. Ideea e, firește, absurdă.

Murphy: Îmi închipui deci că ai fi de acord că fizică nu oferă nici un fel de temeiuri pentru această aplicare extraordinară a ceea ce pentru comoditate am putea numi principiul indeterminării.

Einstein: Fireşte că sunt de acord. Murphy: Totuşi ştii că anumiţi fizicieni englezi de foarte mare prestigiu şi care se bucură totodată de o mare popularitate au susţinut în mod energic ceea ce dumneata şi Planck, ca şi mulţi alţii, numiţi concluzii neîntemeiate. [30]

Einstein: Trebuie să faci deosebire între fizician şi littérateur atunci când cele două profesii se îmbină în aceeaşi persoană. Voi aveţi în Anglia o mare literatură engleză şi o mare disciplină a stilului.

Murphy: Literatura detestă acel amor intellectualis pentru adevărul logic, care pasionează pe omul de ştiinţă. Poate că omul de ştiinţă englez îşi schimbă culoarea în pajiştile literare pentru ca, asemeni omizii de pe frunză, să nu poată fi recunoscut.

Einstein: Ceea ce vreau să spun este că există în Anglia autori cu formaţie ştiinţifică şi care în cărţile lor de

popularizare devin ilogici şi romantici, pe când în munca lor ştiinţifică păstrează rigoarea raţionamentului logic.

Ceea ce urmăreşte omul de ştiinţă este să obţină o descriere logic coerentă a naturii. Logica este pentru el ceea ce pentru pictor sunt legile proporţiei şi ale perspectivei, iar eu cred, împreună cu Poincaré, că merită trudit pe tărâmul ştiinţei pentru că ea ne dezvăluie frumuseţea naturii. Aş spune, legat de aceasta, că omul de ştiinţă îşi află răsplata în ceea ce Henri Poincaré numeşte bucuria înţelegerii şi nu în aplicaţiile la care poate să ducă o descoperire sau alta. Eu cred că omul de ştiinţă e mulţumit să construiască o imagine perfect armonioasă pe un eşafodaj matematic şi este întru totul satisfăcut să lege între ele, prin formule matematice, diferitele ei părţi fără a se întreba dacă şi în ce măsură acestea sunt o dovadă că legea cauzalităţii acţionează în lumea externă.

Murphy: Aş vrea, d-le profesor, să-ţi atrag luarea-aminte asupra unui fenomen ce se produce uneori aici pe lac când faci plimbări cu iahtul dumitale. Fireşte, e un fenomen ce nu survine prea des pe apele liniştite ale lacului Caputh, fiindcă de jur împrejurul său e câmpie şi de aceea nu se stârnesc pe neaşteptate vijelii. Dacă te afli însă cu o barcă cu pânze pe unul din lacurile noastre din nord, rişti oricând să întâlneşti un curent de aer neaşteptat, a cărui rafală să te răstoarne. Vreau să sugerez prin asta că pozitivistul ar putea foarte lesne aici să te ia la ochi şi să te surprindă între vânt şi apă. Dacă spui că omul de ştiinţă se mulţumeşte să asigure constructului său mental armătura logicii matematice, vei fi citat numaidecât în sprijinul idealismului subiectiv propagat de oameni de ştiinţă moderni de felul lui Sir Arthur Eddington.

Einstein: Dar ar fi ridicol. Murphy: Desigur că ar fi o concluzie neîntemeiată; numai că în presa britanică ai fost deja frecvent citat ca adept al teoriei după care lumea externă e un derivat al conştiinţei. A trebuit să atrag atenţia asupra acestui fapt unui prieten de-al meu din Anglia, dl

Joad, care a scris o foarte izbutită carte intitulată Aspectele filozofice ale ştiinţei. Cartea polemizează cu atitudinile adoptate de Sir Arthur Eddington şi Sir James Jeans, iar numele dumitale este menţionat printre cei ce sprijină teoriile lor.

Einstein: Nici un fizician nu gândeşte aşa. Pentru că atunci n-ar fi fizician. Nu gândesc aşa nici fizicienii pe care i-ai menţionat. Trebuie să faci deosebire între modă literară şi rostire ştiinţifică. Aceşti oameni sunt savanţi autentici, iar formulările lor literare nu trebuie considerate drept expresii ale convingerilor lor ştiinţifice. De ce s-ar mai osteni cineva să scruteze stelele dacă n-ar crede că ele există cu adevărat. [31] Aici sunt în întregime de acord cu Planck. Nu putem dovedi logic existenţa lumii externe, întocmai cum dumneata nu poţi dovedi logic că eu stau acum de vorbă cu dumneata sau că mă aflu aici. Dar ştii bine că mă aflu aici şi nici un idealist subiectiv nu te va putea convinge de contrariul.

Murphy: Această chestiune a fost integral elucidată cu mult timp în urmă, de către scolastici şi nu mă pot împiedica să cred că lumea ar fi fost scutită de o bună parte din confuzia apărută în secolul al nouăsprezecelea şi care dăinuie şi astăzi, dacă în secolul al şaptesprezecelea nu s-ar fi produs o ruptură atât de adâncă cu tradiţia filozofică. Scolasticii au soluţionat foarte clar problema fizicianului modern spunând despre imaginile mentale ale realităţii externe că există fundamentaliter În re, formaliter În mente.

Nu-mi mai amintesc cum s-a întrerupt discuţia asupra acestei probleme. În stenogramă, alineatul următor începe cu PLANCK*.

Ultimele câteva pagini din originalul „dialogului socratic „cuprind o discuţie între Planck şi Murphy, fără o legătură directă cu opiniile exprimate până aici de Einstein. De aceea nu le-am tradus pentru volumul de faţă (n.t.).

NOTE

Cazuri, formularea unei regularităţi cu caracter statistic suplineşte imposibilitatea de a descrie situaţia reală prin legi stricte.

DESPRE METODA FIZICII TEORETICE.

Dacă doriţi să învăţaţi de la fizicienii teoreticieni ceva despre metodele pe care le folosesc, vă propun să urmaţi principiul: nu le ascultaţi cuvintele, observaţi faptele lor. [32] Deoarece produsele propriei sale imaginaţii îi apăr celui care este un creator în acest domeniu atât de necesare şi naturale încât el le consideră şi ar dori ca şi alţii să le considere tot astfel nu ca plăsmuiri ale gândirii, ci ca realităţi date.

Aceste cuvinte par menite să vă determine să părăsiţi această conferinţă; veţi spune: cel care vă vorbeşte este şi el un fizician ce construieşte; de aceea ar trebui şi el să lase reflecţia asupra structurii ştiinţei teoretice în seama epistemologilor.

Împotriva unei asemenea obiecţii m-aş putea apăra dintr-un punct de vedere personal, asigurându-vă că nu a fost o iniţiativă a mea, ci o invitaţie amabilă de a urca la această catedră dedicată memoriei unui om care a luptat întreaga viaţă pentru unitatea cunoaşterii. Din punct de vedere obiectiv, strădania mea ar putea fi justificată totuşi prin interesul pe care l-ar putea prezenta cunoaşterea modului în care gândeşte asupra ştiinţei sale unui om care o viaţă întreagă şi-a consacrat toate forţele clarificării şi perfecţionării principiilor ei. Modul în care el priveşte trecutul şi prezentul acestei ştiinţe poate să depindă prea mult de ceea ce el aşteaptă de la viitor şi aspiră să realizeze în prezent; dar aceasta este soarta inevitabilă a oricărui om angajat intens într-o lume a ideilor. El se află în aceeaşi situaţie cu istoricul, care, de asemenea, ordonează evenimentele reale chiar dacă, poate, inconştient conform idealurilor pe care şi le-a format cu privire la societatea umană. [33]

Să aruncăm o privire rapidă asupra dezvoltării sistemului teoretic, concentrându-se atenţia asupra relaţiei dintre conţinutul teoriei şi totalitatea faptelor experienţei. Aveam de-a face în propriul nostru domeniu cu eterna opoziţie între cele două componente inseparabile ale cunoaşterii, empiria şi raţiunea.

Cu toţii admirăm Grecia antică drept leagăn al ştiinţei apusene. Acolo, pentru prima oară a fost creat miracolul raţional al unui sistem logic ale cărui enunţuri se deduceau cu atâta precizie încât nici una dintre propoziţiile demonstrate nu admitea nici cea mai mică îndoială geometria lui Euclid. Acest triumf admirabil al raţiunii ia dat spiritului uman încrederea în sine necesară pentru realizările ulterioare. Cel care, în tinereţea sa, n-a fost entuziasmat de această operă nu s-a născut pentru a deveni om de ştiinţă teoretician.

Dar, pentru a fi la nivelul unei ştiinţe ce năzuieşte să reprezinte realitatea, era nevoie de o a doua cunoştinţă fundamentală, care, până la Kepler şi Galilei, nu devenise încă un bun comun al filozofilor. Prin simpla gândire logică nu putem dobândi nici o cunoaştere asupra lumii experienţei; orice cunoaştere a realităţii porneşte de la experienţă şi se împlineşte în ea. Propoziţiile obţinute exclusiv prin mijloace logice sunt, în raport cu realitatea, complet vide. Tocmai pentru că a recunoscut acest fapt şi, în special, pentru că l-a impus în lumea ştiinţei, Galilei a devenit fondatorul fizicii moderne, ba chiar al ştiinţei moderne în general. [34]

Dacă experienţa este începutul şi sfârşitul întregii noastre cunoaşteri privitoare la realitate, ce funcţie îi revine atunci raţiunii în ştiinţă?

Un sistem încheiat al fizicii teoretice este alcătuit din concepte, legi fundamentale, presupuse a fi valabile pentru aceste concepte şi din concluzii obţinute prin deducţie logică. Tocmai aceste concluzii sunt cele care trebuie să

corespundă experienţelor noastre individuale. Derivarea lor logică ocupă cea mai mare parte din oricare tratat teoretic.

Lucrurile stau exact la fel ca în geometria euclidiană, cu excepţia faptului că aici legile fundamentale se cheamă axiome şi nu se pune problema corespondenţei consecinţelor logice ale teoriei cu vreun gen determinat de experienţă. Dacă vom concepe însă geometria euclidiană ca ştiinţă a relaţiilor reciproce posibile ale corpurilor practic rigide în spaţiu, cu alte cuvinte, dacă o interpretăm ca ştiinţă fizică, fără a face abstracţie de conţinutul ei empiric originar, omogenitatea logică a geometriei şi fizicii teoretice devine completă.

Am atribuit raţiunii şi experienţei locul lor determinat în cadrul sistemului fizicii teoretice. Structura sistemului este opera raţiunii, datele experienţei şi relaţiile lor reciproce trebuie să-şi găsească reprezentarea în concluziile teoriei. Tocmai pe posibilitatea unei asemenea reprezentări se întemeiază valoarea şi justificarea întregului sistem şi, în mod special, valoarea conceptelor şi legilor fundamentale care alcătuiesc baza sa. Acestea din urmă sunt de altfel creaţii libere ale spiritului uman, care nu pot fi justificate a priori nici prin natura spiritului uman, nici în vreo altă modalitate.

Aceste concepte şi legi fundamentale, care nu pot fi mai departe reduse logic, constituie partea esenţială a unei teorii, care nu poate fi concepută pe cale raţională. Obiectivul principal al oricărei teorii este să facă din aceste elemente fundamentale ireductibile pe cât posibil o mulţime minimă de elemente simple, fără a se renunţa astfel la reprezentarea adecvată a vreunui dat empiric oarecare.

Concepţia pe care am schiţat-o aici cu privire la caracterul de pură invenţie al principiilor teoriei ştiinţifice nu era nici pe departe cea dominantă în secolul al XVIII-lea, nici chiar în secolul al XIX-lea. Dar ea câştigă din ce în ce mai mult teren prin faptul că distanţa raţională între conceptele şi legile fundamentale, pe de o parte şi, pe de altă parte,

concluziile pe care trebuie să le punem în raport cu experienţa creşte mereu, pe măsură ce structura logică devine mai unitară, cu alte cuvinte, cu cât este mai mic numărul elementelor conceptuale logic independente pe care se întemeiază structura întregului sistem. [35]

Newton, primul creator al unui sistem cuprinzător şi efectiv al fizicii teoretice, încă mai credea că noţiunile şi legile de bază ale sistemului său ar putea fi derivate din experienţă. Dictum-ul său, hypotheses non fingo, poate fi înţeles, probabil, în acest sens.

De fapt, în acea vreme, conceptele de spaţiu şi timp nu păreau să aibă ceva problematic, iar conceptele de masă, inerţie şi forţă şi corelaţia lor legică păreau a fi scoase direct din experienţă. De îndată ce este admisă această bază, expresia forţei gravitaţiei apărea ca derivată nemijlocit din experienţă şi acelaşi lucru era de aşteptat şi pentru alte forţe.

Din formularea lui Newton putem deduce că ideea de spaţiu absolut, care includea în sine şi pe aceea de repaus absolut, i-a creat dificultăţi; el era conştient de faptul că, în experienţă, nimic nu părea să corespundă acestui ultim concept. De asemenea, s-a simţit stânjenit de introducerea unor forţe care acţionează la distanţă. Dar succesul practic enorm al teoriei sale l-a împiedicat, ca şi pe fizicienii secolelor al XVIII-lea şi al XIX-lea, să accepte caracterul fictiv al principiilor sistemului său.

Dimpotrivă, majoritatea fizicienilor din acea epocă erau pătrunşi de ideea că noţiunile de bază şi legile fundamentale ale fizicii n-ar fi, din punct de vedere logic, creaţii libere ale spiritului uman, ci că ar putea fi deduse din experienţă prin „abstracţie „, adică pe o cale logică. Recunoaşterea clară a caracterului eronat al acestei concepţii a venit doar o dată cu teoria generală a relativităţii, deoarece aceasta a arătat că se poate explica domeniul respectiv de fapte ale experienţei şi anume într-o modalitate mai satisfăcătoare şi completă, pe o bază cu

totul diferită de cea newtoniană. Dar, lăsând cu totul la o parte problema superiorităţii uneia sau alteia dintre teorii, caracterul fictiv al principiilor fundamentale devine pe deplin evident din faptul că putem prezenta două principii esenţial diferite, ambele fiind în mare măsură în acord cu experienţa. Aceasta dovedeşte în acelaşi timp că orice încercare de a deduce logic conceptele de bază şi legile fundamentale ale mecanicii din experienţe elementare este sortită eşecului.

Dar dacă e adevărat că baza axiomatică a fizicii teoretice nu poate fi derivată din experienţă, ci trebuie inventată în mod liber, mai putem noi oare spera în general să găsim calea cea corectă? Sau această cale corectă nu există decât în imaginaţia noastră? Putem oare spera în general a fi ghidaţi în mod sigur de experienţă, atunci când există teorii (cum este mecanica clasică) care concordă cu experienţa într-o mare măsură, chiar dacă n-au pătruns până la temeiul lucrurilor? 5 La aceasta răspund cu toată încrederea că există, după părerea mea, calea corectă şi că noi suntem în stare s-o găsim. De altfel, după experienţa de până acum suntem îndreptăţiţi să credem că natura este o realizare a celor mai simple idei matematice pe care le putem imagina. Convingerea mea este că putem descoperi cu ajutorul unor construcţii pur matematice acele concepte şi acele corelaţii legice dintre ele care ne oferă cheia înţelegerii fenomenelor naturale. Experienţa ne poate sugera concepte matematice utile; dar în nici un caz acestea nu pot fi deduse de ea. Experienţa rămâne, desigur, singurul criteriu al utilităţii unei construcţii matematice pentru fizică. Principiul propriu-zis creator se află însă în matematică. [37] Într-un anumit sens, consider aşadar adevărat faptul că gândirea pură este aptă să pătrundă realul, aşa cum au visat anticii.

Pentru a justifica această încredere sunt obligat să folosesc concepte matematice. Lumea fizică va fi reprezentată printr-un continuu cvadridimensional. Dacă

vom accepta că aceasta are o metrică riemannianã şi vom căuta cele mai simple legi pe care le poate satisface o asemenea metrică, vom ajunge la teoria relativistă a gravitaţiei în spaţiul vid. Dacă în acest spaţiu vom lua un câmp de vectori, respectiv câmpul de tensori antisimetrici care se poate deduce din el şi ne vom întreba care sunt cele mai simple legi pe care le poate satisface un asemenea câmp, vom ajunge la ecuaţiile lui Maxwell ale spaţiului vid.

Aici ne lipseşte încă o teorie pentru acele părţi ale spaţiului în care densitatea electrică nu se anulează. L. de Broglie a propus ipoteza unui câmp de unde care a putut fi aplicată la interpretarea anumitor proprietăţi cuantice ale materiei. Dirac a găsit în spinorii săi mărimi de câmp de un gen nou, ale căror ecuaţii foarte simple ne permit într-o mare măsură să deducem proprietăţile electronului. Eu am descoperit, împreună cu colaboratorul meu, că aceşti spinori reprezintă un caz particular al unui tip de câmp, legat matematic cu un sistem cvadridimensional, pe care l-am desemnat prin expresia „semivectori „. Cele mai simple ecuaţii la care pot fi supuşi aceşti semivectori oferă o cheie pentru înţelegerea existenţei celor două genuri de particule elementare, cu mase ponderabile diferite şi cu sarcini electrice egale, dar de semn contrar. Aceşti semivectori sunt, după vectorii obişnuiţi, cele mai simple structuri de câmp matematice care sunt posibile într-un continuu metric cu patru dimensiuni şi s-ar părea că ei descriu, într-o modalitate naturală, anumite proprietăţi esenţiale ale particulelor electrice elementare.

Pentru felul nostru de a vedea lucrurile este important că toate aceste construcţii şi legile care le corelează pot fi obţinute conform principiului căutării celor mai simple concepte matematice şi a legăturilor dintre ele. Pe ideea limitării varietăţii tipurilor de câmpuri simple matematic existente şi a ecuaţiilor simple care sunt posibile între ele se întemeiază speranţa teoreticianului de a pătrunde raţional realul în toată profunzimea lui.

Punctul cel mai dificil al unei asemenea teorii de câmp constă în momentul de faţă în înţelegerea structurii atomice a materiei şi energiei. Teoria, în principiile sale, nu este una atomistă, în măsura în care operează exclusiv cu funcţii continue de spaţiu, în contrast cu mecanica clasică, al cărei element cel mai important, punctul material, justifică prin sine structura atomică a materiei.

Teoria cuantică modernă în forma asociată cu numele lui de Broglie, Schrödinger şi Direc, care operează cu funcţii continue, a depăşit această dificultate printr-o ingenioasă interpretare formulată în mod clar mai întâi de Max Born. După aceasta, funcţiile spaţiale care apar în ecuaţii nu pretind a fi un model matematic al unor structuri atomice; ele determină prin calcul doar probabilităţile pentru apariţia unor asemenea structuri, dacă se efectuează măsurători într-un loc dat sau asupra unei stări date a mişcării. Această concepţie este logic ireproşabilă şi a dat naştere unor rezultate importante. Din păcate, ea ne obligă totuşi să folosim un continuu cu un număr de dimensiuni diferit de cel atribuit spaţiului de fizică până în prezent (patru), număr care creşte nelimitat o dată cu numărul particulelor ce constituie sistemul considerat. Nu pot să nu recunosc că atribui doar o semnificaţie provizorie acestei interpretări. Eu cred încă în posibilitatea unui model al realităţii cu alte cuvinte, a unei teorii care să reprezinte lucrurile însele şi nu doar probabilitatea manifestării lor. [38]

Pe de altă parte, mi se pare cert că va trebui să abandonăm ideea unei localizări complete a particulelor într-un model teoretic. Aceasta mi se pare a fi rezultatul durabil al principiului de nedeterminare al lui Heisenberg. Dar, se poate concepe foarte bine o teorie atomistă în sensul propriu al cuvântului (nu doar pe baza unei interpretări) fără localizarea particulelor într-un model matematic. De exemplu, pentru a explica natura atomică a electricităţii, ecuaţiile de câmp vor trebui să conducă la

următoarele concluzii: o parte a spaţiului (tridimensional), la limitele căruia densitatea electrică se anulează peste tot, conţine întotdeauna o sarcină electrică totală a cărei mărime e reprezentată printr-un număr întreg. Într-o teorie a continuului caracteristicile atomice vor fi exprimate în mod satisfăcător prin legi integrale fără localizarea acelor construcţii ce constituie structura atomică.

Numai atunci când o asemenea reprezentare a structurii atomice va reuşi, voi considera dezlegat misterul cuantic.

NOTE.

Egală măsură „adevărate „. Exprimarea atât de caracteristică a lui Einstein relevă că el priveşte teoriile fizice în primul rând ca descrieri ale realităţii fizice, o realitate care există independent de construcţiile fizicianului teoretician. Dacă două teorii fizice au principii diferite, înseamnă că ele sunt descrieri diferite ale realităţii fizice. Teoria newtoniană şi teoria relativistă a gravitaţiei nu pot fi, aşadar, în egală măsură „adevărate „, chiar dacă pot să dea socoteală de aceleaşi date ale observaţiei astronomice. În raport cu prima teorie, care „n-a pătruns până la temeiul lucrurilor „, teoria generalizată a relativităţii va fi apreciată drept o descriere mai adecvată a realităţii fizice.

OBSERVAŢII ASUPRA TEORIEI CUNOAŞTERII A LUI BERTRAND RUSSELL*

Când editorul mi-a solicitat să scriu ceva despre Bertrand Russell, admiraţia şi respectul pe care le port acestui autor m-au făcut să accept de îndată. Datorez lecturii lucrărilor lui Russell nenumărate ceasuri fericite, ceea ce n-aş putea spune despre nici un alt autor contemporan de lucrări ştiinţifice, cu excepţia lui Thorstein Veblen. Curînd am înţeles însă că o asemenea promisiune este mai uşor de făcut decât de împlinit. Promisesem să spun ceva despre Russell ca filozof şi epistemolog. Apucându-mă, încrezător, de această sarcină, mi-am dat repede seama pe ce teren alunecos mă aventuram, ca un novice, care până acum se

limitase prudent la domeniul fizicii. Fizicianul este nevoit, din pricina dificultăţilor actuale ale ştiinţei sale, să se confrunte cu probleme filozofice într-o măsură mai mare decât a fost cazul cu generaţiile anterioare. Deşi aici n-am să vorbesc despre aceste dificultăţi, reflecţia asupra lor este mai cu seamă cea care mă condus la punctul de vedere schiţat în cele ce urmează.

În evoluţia gândirii filozofice de-a lungul secolelor, un rol major l-a jucat întrebarea: „Ce fel de cunoştinţe poate să ofere gândirea pură, indiferent de impresiile senzoriale? Există asemenea cunoştinţe? Iar dacă nu, în ce relaţie stă cunoaşterea noastră cu materialul pe care-l Oferă simţurile? „Acestor întrebări şi altor câtorva strâns legate de ele le corespunde un haos imens de opinii filozofice. În desfăşurarea acestor străduinţe eroice, dar relativ infructuoase, se poate discerne totuşi o tendinţă sistematică de evoluţie şi anume un scepticism crescând în privinţa oricărei încercări de a afla ceva pe calea gândirii pure despre „lumea obiectivă „, despre lumea „lucrurilor „ca opusă lumii simplelor „reprezentări şi idei „. În paranteză fie spus, ghilimelele le-am folosit aici în felul filozofilor veritabili, pentru a introduce un concept nelegitim, pe care cititorul este rugat să-l îngăduie pentru moment, cu toate că e suspect în ochii poliţiei filozofice.

Credinţa că tot ce este demn de a fi cunoscut poate fi dobândit pe calea simplei reflecţii a fost aproape generală în perioada începuturilor filozofiei. A fost o iluzie pe care oricine o poate înţelege dacă lasă deoparte, pentru o clipă, tot ce a învăţat din filozofia de mai târziu şi din ştiinţele naturii; el nu se va mira de faptul că Platon atribuia un fel de realitate superioară „Ideilor „faţă de lucrurile aşa cum le cunoaştem în experienţa senzorială. Şi la Spinoza şi, mai târziu încă, la Hegel, această prejudecată se pare că a fost forţa stimulatoare care a jucat rolul principal. Cineva ar putea chiar să pună întrebarea dacă fără ceva din această iluzie s-ar putea în general edifica ceva măreţ pe tărâmul

gândirii filozofice noi însă nu ne vom pune această întrebare.

Faţă cu această iluzie mai aristocrată privind puterea de pătrundere nelimitată a gândirii stă iluzia mai plebee a realismului naiv, după care lucrurile „sunt „aşa cum le percepem prin simţuri. Această iluzie domină viaţa cotidiană a oamenilor şi animalelor; ea constituie şi punctul de plecare al ştiinţelor, în special al ştiinţelor naturii.

Eforturile de depăşire a acestor două iluzii nu sunt independente unul de altul. Depăşirea realismului naiv a fost relativ simplă. În introducerea cărţii sale An Inquiry into Meaning and Truth, Russell a concretizat acest proces în cuvinte de o admirabilă pregnanţă: „Pornim cu toţii de la «realismul naiv», adică de la doctrina că lucrurile sunt ceea ce par că sunt. Credem că iarba e verde, că pietrele sunt tari şi că zăpada e rece. Fizica ne arată însă că verdele ierbii, duritatea pietrelor şi răceala zăpezii nu sunt acel verde, acea duritate şi acea răceală pe care le ştim din proprie experienţă, ci sunt ceva mult diferit. Dacă e să dăm crezare fizicii, observatorul, când are impresia că observă o piatră, observă de fapt efectele pietrei asupra lui. Ştiinţa pare, astfel, a se război cu sine însăşi: când urmăreşte cel mai mult să fie obiectivă, se vede plonjând fără voie în subiectivitate. Realismul naiv duce la fizică, iar fizica dacă e adevărată arată că realismul naiv este fals. Prin urmare, realismul naiv, dacă e adevărat, este fals; deci este fals. „(pp. 14–15)*

Lăsând la o parte măiestria formulării, aceste rânduri spun ceva la care nu mă gândisem niciodată înainte. La o privire superficială, modul de gândire al lui Berkeley şi Hume pare a sta în opoziţie cu modul de gândire al ştiinţelor naturii. Observaţia lui Russell din fragmentul citat dezvăluie însă o legătură: dacă Berkeley se sprijină pe faptul că noi nu sesizăm direct prin simţuri „lucrurile „lumii exterioare, ci că doar evenimentele legate cauzal de prezenţa „lucrurilor „ajung la organele noastre de simţ,

aceasta este o consideraţie ce-şi dobândeşte forţa de convingere din încrederea pe care o avem în modul de gândire fizic. Căci, dacă ne-am îndoi de modul de gândire fizic chiar în privinţa trăsăturilor lui celor mai generale, nu ar exista nici o necesitate de a interpune între obiect şi actul vederii ceva ce separă obiectul de subiect şi face problematică „existenţa obiectului „.

Acelaşi mod de gândire fizic şi succesele lui practice au zdruncinat însă şi încrederea în posibilitatea de a înţelege lucrurile şi relaţiile dintre ele prin simpla gândire speculativă. Treptat şi-a croit drum convingerea că toate cunoştinţele despre lucruri sunt exclusiv rezultatul Prelucrării materialului brut furnizat de simţuri. În această formă generală (şi enunţată anume întru câtva vag), această propoziţie este astăzi, probabil, unanim acceptată. Dar această convingere nu se bazează pe supoziţia că cineva ar fi demonstrat imposibilitatea dobândirii unor cunoştinţe despre realitate pe calea speculaţiei pure, ci pe faptul că numai calea empirică (în sensul precizat mai sus) s-a dovedit a fi sursa cunoaşterii. Galilei şi Hume au fost primii care au susţinut acest principiu cu toată claritatea şi fermitatea.

Hume a văzut că din materialul furnizat de simţuri nu pot fi dobândite concepte pe care le considerăm esenţiale, cum este, de exemplu, cel de conexiune cauzală. Această constatare l-a condus la o atitudine sceptică faţă de orice fel de cunoaştere. Când citeşti cărţile lui Hume, te cuprinde mirarea că după el atâţia filozofi, între care unii de mare prestigiu, au putut să scrie atâtea obscurităţi şi chiar să găsească pentru ele cititori recunoscători. Hume a influenţat în mod durabil dezvoltarea celor mai buni filozofi de după el. Îl simţi mereu prezent când citeşti analizele filozofice ale lui Russell, a căror perspicacitate şi simplitate în expresie mi-au amintit adesea de Hume. [39]

Omul are o puternică năzuinţă spre cunoaştere asigurată. Tocmai de aceea a părut zdrobitor mesajul limpede al lui

Hume că materialul brut furnizat de simţuri, singura sursă a cunoştinţelor noastre, ne poate duce prin obişnuinţă la credinţă şi aşteptare, nu însă la cunoaşterea unor relaţii legice şi cu atât mai puţin la înţelegerea lor. Atunci a apărut pe scenă Kant, cu o idee care, deşi este cu siguranţă de nesusţinut în forma pe care i-a dat-o el, a însemnat un pas spre rezolvarea dilemei lui Hume: tot ce este de origine empirică în cunoaştere nu este niciodată cert (Hume). Dacă deci posedăm o cunoaştere certă, ea trebuie să-şi aibă temeiul în raţiunea însăşi. Acesta este cazul după Kant cu propoziţiile geometriei şi cu principiul cauzalităţii. Aceste cunoştinţe şi anumite altele sunt, aşa zicând, o parte a instrumentarului gândirii şi ca atare nu urmează a fi dobândite abia din datele simţurilor. (Altfel spus, ele sunt cunoştinţe „a priori „.) Astăzi, fireşte, oricine ştie că cunoştinţele menţionate n-au nimic din certitudinea, din necesitatea internă, pe care le-o atribuia Kant. Ceea ce mi se pare însă corect în felul cum a pus el problema este constatarea că noi facem uz de gândire, cu anumită „îndreptăţire „, de concepte la care nu se poate ajunge de la materialul oferit de experienţa senzorială, dacă privim situaţia din punct de vedere logic.

În ce mă priveşte, sunt convins că trebuie să susţinem chiar mult mai mult şi anume că toate conceptele care intervin în gândirea şi în exprimările noastre lingvistice sunt vorbind din punct de vedere logic creaţii libere ale gândirii şi nu pot fi dobândite inductiv din experienţele senzoriale. Lucrul acesta nu este atât de uşor de observat numai pentru că suntem obişnuiţi să legăm în mod atât de strâns anumite concepte şi combinaţii de concepte (propoziţii) cu anumite experienţe senzoriale, încât nu devenim conştienţi de prăpastia de netrecut din punct de vedere logic ce desparte lumea trăirilor senzoriale de cea a conceptelor şi propoziţiilor.

Astfel, de exemplu şirul numerelor întregi este evident o invenţie a spiritului uman, un instrument creat de om care

înlesneşte ordonarea anumitor experienţe senzoriale. Pe nici o cale însă acest concept nu s-ar putea cristaliza din experienţa senzorială. Am ales aici conceptul de număr, fiindcă el aparţine gândirii preştiinţifice şi, cu toate acestea, este uşor de recunoscut caracterul lui constructiv. Cu cât ne adresăm însă mai mult conceptelor celor mai primitive din viaţa de toate zilele, cu atât masa obişnuinţelor înrădăcinate ne îngreunează mai mult recunoaşterea în concept a unei creaţii de-sine-stătătoare a gândirii. Aşa se face că a putut să apară concepţia nefastă pentru înţelegerea relaţiilor existente aici după care conceptele s-ar degaja din experienţă prin „abstractizare „, adică prin omiterea unei părţi a conţinutului acesteia. [40] Vreau să arăt acum de ce mi se pare atât de nefastă această concepţie.

O dată ce ţi-ai însuşit critica lui Hume, ajungi uşor la ideea că toate acele concepte şi propoziţii care nu pot fi derivate din materialul senzorial ar trebui înlăturate din gândire ca fiind „metafizice „. Căci orice gândire îşi primeşte conţinutul material numai prin legătura sa cu acest material senzorial. Această din urmă aserţiune o consider întru totul adevărată, dar consider greşită prescripţia formulată, pe baza ei, pentru gândire. Fiindcă, dacă ar fi aplicată cu consecvenţă, această prescripţie ar exclude absolut orice gândire ca fiind „metafizică „.

Pentru ca gândirea să nu degenereze în „metafizică „, respectiv în vorbărie găunoasă [41], este necesar doar ca un număr suficient de mare de propoziţii ale sistemului conceptual să fie legate îndeajuns de strâns de experienţele senzoriale şi că sistemul conceptual, dată fiind sarcina sa de a ordona şi a permite cuprinderea conţinuturilor sensibile, să posede o cât mai mare unitate şi economicitate cu putinţă. În rest însă, „sistemul „este (din punct de vedere logic) un joc liber cu simboluri după reguli adoptate în mod arbitrar (din punct de vedere logic). Toate acestea sunt valabile deopotrivă pentru gândirea din viaţa de toate

zilele, ca şi pentru gândirea mai conştient-sistematic-structurată din domeniul ştiinţei.

Acum va fi clar ce am în vedere spunând următoarele: prin critica sa clară, Hume nu a marcat numai un avans decisiv în filozofie, ci a creat totodată fără vina să un pericol pentru filozofie, prin aceea că, pe baza criticii sale, a luat naştere o nefastă „teamă de metafizică „, devenită o boală a filozofiei empiriste contemporane; această boală constituie replica acelei filozofări nebuloase de odinioară care credea că se poate dispensa de datele senzoriale şi că le poate neglija. [42]

Cu toate admiraţia pe care o am pentru analiza pătrunzătoare pe care ne-a dăruit-o Russell în ultima sa carte, Meaning and Truth, mi se pare totuşi că şi aici spectrul temerii de metafizică a pricinuit unele pagube. Mi se pare, bunăoară, că teama de metafizică este cea care i-a sugerat autorului să conceapă „lucrul „ca un „mănunchi de calităţi „, aceste „calităţi „urmând să fie luate din materialul senzorial. Faptul că două lucruri sunt unul şi acelaşi lucru, dacă toate calităţile lor sunt identice, impune ca şi relaţiile geometrice dintre lucruri să fie incluse printre calităţile lor. (Altminteri am fi nevoiţi să considerăm Turnul Eiffel din Paris şi pe cel din New York ca fiind „acelaşi lucru „.)* Contrar acestei poziţii, eu nu văd nici un pericol „metafizic „în a lua lucrul (obiectul în sensul fizicii) ca pe un concept de-sinestătător în sistem, împreună cu structura spaţio-temporală respectivă.

Legat de aceasta, m-am bucurat întâlnind în capitolul final constatarea că nu ne putem dispensa de „metafizică „. Dacă mă nemulţumeşte ceva, este stânjeneala intelectuală care, în legătură cu aceasta, se face uneori simţită printre rânduri. [43]

NOTE.

Cf. B. Russell, An Inquiry into Meaning and Truth, pp. 119–120 cap. „Proper Names „.

Einstein lasă clar să se înţeleagă că s-a apropiat mai mult de Hume decât de alţi filozofi empirişti atras de sobrietatea şi profunzimea analizelor sale, precum şi de farmecul aparte al scrisului acestui autor. Am greşi dacă am înţelege omagiul pe care îl aduce aici Einstein lui Hume crezând că felul în care gândeşte el asupra problemelor cunoaşterii este cel al filozofului scoţian. Einstein recunoaşte cu plăcere influenţa pe care au exercitat-o unele lecturi filozofice asupra modului său de a gândi, dar indică în mod clar, atât în acest text, cât şi în altele, că a ajuns în cele din urmă prin reflecţie asupra propriei sale experienţe ca cercetător al naturii la un punct de vedere propriu. Acest punct de vedere prezintă convergenţe parţiale cu mari orientări din teoria cunoaşterii, dar se delimitează totodată în mod clar de marile tradiţii filozofice.

Teza că am putea avea o cunoaştere despre realitate în mod a priori, adică independent de orice experienţă.

II FUNDAMENTELE FIZICII TEORETICE: TEORIA RELATIVITĂŢII ŞI MECANICA CUANTICĂ.

CE ESTE TEORIA RELATIVITĂŢII?

Vin cu plăcere în întâmpinarea cererii colaboratorului dumneavoastră de a scrie pentru Times ceva despre „relativitate „. Căci, după regretabila ruptură a relaţiilor internaţionale, altădată vii, între savanţi1 aceasta este pentru mine o bine venită ocazie de a-mi exprima sentimentele de bucurie şi recunoştinţă faţă de astronomii şi fizicienii englezi. Faptul că cercetători de seamă au cheltuit mult timp şi şi-au dat multă osteneală, că institutele dumneavoastră ştiinţifice au investit mari mijloace materiale pentru a verifica o consecinţă a unei teorii care a fost elaborată şi publicată în ţara duşmanilor dumneavoastră în timpul războiului este cu totul în spiritul mărilor şi înaltelor tradiţii ale muncii ştiinţifice din ţara dumneavoastră. Dacă în cazul cercetării influenţei câmpului gravitaţional al Soarelui asupra razelor de lumină era vorba şi de o chestiune pur obiectivă, simt totuşi nevoia să exprim

colegilor englezi şi mulţumirile mele personale pentru munca depusă de ei, fără de care nu aş mai fi apucat, desigur, să văd verificarea celor mai însemnate consecinţe ale teoriei mele. [45]

În fizică pot fi deosebite teorii pe diferite genuri. Cele mai multe sunt teorii constructive. Acestea încearcă să construiască o reprezentare a fenomenelor mai complexe pornind de la un formalism relativ simplu, luat ca bază. Astfel, teoria cinetică a gazelor încearcă să reducă fenomenele mecanice, termice şi de difuziune la mişcări ale moleculelor, adică să le construiască pe baza ipotezei mişcării moleculare. Când se spune că s-a reuşit să se înţeleagă un grup de fenomene ale naturii, prin aceasta se înţelege întotdeauna că s-a găsit o teorie constructivă ce cuprinde fenomenele în discuţie.

Dar alături de această importantă clasă de teorii există o a doua, a teoriilor pe care le voi numi teorii de principii (Prinzip-Theorien). Acestea nu folosesc metoda sintetică, ci metoda analitică. Punctul de plecare şi bază nu sunt constituite de elemente de construcţie ipotetice, ci de însuşiri generale ale fenomenelor naturii, descoperite empiric, principii, din care decurg apoi criterii formulate matematic, ce trebuie satisfăcute de fenomenele individuale, respectiv de imaginile lor teoretice. Astfel, pornind de la rezultatul empiric general că un perpetuum mobile este imposibil, termodinamica încearcă să stabilească pe căi analitice condiţiile pe care fenomenele individuale trebuie să le satisfacă.

Avantajul teoriilor constructive este completitudinea, capacitatea de adaptare şi intuitivitatea, în timp ce avantajul teoriilor de principii este perfecţiunea logică şi siguranţa fundamentelor. [46]

Teoria relativităţii aparţine teoriilor de principii. Pentru a-l înţelege esenţa trebuie mai întâi să cunoaştem principiile pe care se sprijină. Înainte însă de a mă referi la acestea, trebuie să observ că teoria relativităţii seamănă cu o clădire

alcătuită din două etaje separate, teoria specială şi teoria generală a relativităţii. Teoria specială a relativităţii, pe care se sprijină cea generală, se raportează la toate fenomenele fizice cu excepţia gravitaţiei; teoria generală a relativităţii oferă legea gravitaţiei şi relaţiile ei cu celelalte forţe ale naturii.

Încă din antichitatea greacă este bine cunoscut că pentru descrierea mişcării unui corp avem nevoie de un al doilea la care se raportează mişcarea celui dintâi. Mişcarea unei trăsuri este raportată la suprafaţa Pământului, mişcarea unei planete la totalitatea stelelor fixe vizibile. În fizică, corpul la care sunt raportate fenomenele din punct de vedere spaţial este numit sistem de coordonate. Bunăoară legile mecanicii ale lui Galilei şi Newton au putut fi formulate numai prin utilizarea unui sistem de coordonate.

Starea de mişcare a sistemului de coordonate nu poate fi însă aleasă în mod arbitrar, dacă este vorba ca legile mecanicii să fie valabile (sistemul de coordonate trebuie să fie „fără mişcare de rotaţie „şi „fără mişcare de acceleraţie „). Sistemul de coordonate admis în mecanică este numit „sistem inerţial „. Starea de mişcare a unui sistem inerţial nu este însă, potrivit mecanicii, stabilită univoc de natură. Există mai degrabă principiul: un sistem de coordonate ce se mişcă rectiliniu şi uniform faţă de un sistem inerţial este de asemenea un sistem inerţial. Prin „principiul special al relativităţii „se înţelege generalizarea acestui principiu asupra oricăror fenomene ale naturii: orice lege generală a naturii valabilă în raport cu un sistem de coordonate C trebuie să rămână valabilă, fără vreo schimbare, în raport cu un sistem de coordonate C [50] care este în mişcare de translaţie uniformă faţă de C.

Al doilea principiu pe care se sprijină teoria specială a relativităţii este principiul „constanţei vitezei luminii în vid „. Acesta spune: în vid lumina are întotdeauna o viteză de propagare determinată (independent de starea de mişcare şi de sursa luminii). Încrederea fizicianului în acest

principiu îşi are originea în succesele electrodinamicii lui Maxwell şi Lorentz.

Amândouă principiile amintite sunt susţinute cu putere de experienţă, dar par să nu fie logic compatibile unul cu celălalt. Unificarea lor logică a fost realizată, în cele din urmă, în teoria specială a relativităţii printr-o schimbare a cinematicii, adică a teoriei despre legile ce privesc (din punctul de vedere fizic) spaţiul şi timpul. S-a dovedit că enunţul simultaneităţii a două evenimente nu are sens decât prin raportare la un sistem de coordonate, că forma etaloanelor de măsurare şi viteza de mişcare a ceasornicelor trebuie să depindă de starea lor de mişcare faţă de sistemul de coordonate.

Vechea fizică, inclusiv legile de mişcare galileo-newtoniene, nu se potrivea însă cinematicii relativiste despre care a fost vorba. Din cea din urmă decurg condiţii matematice generale cărora trebuie să le corespundă legile naturii, dacă este vorba ca cele două principii generale amintite să fie valabile. Acestora trebuia să le fie adaptată fizica. [47] S-a ajuns astfel în particular la o nouă lege a mişcării pentru puncte materiale ce se mişcă rapid, lege care a fost pe deplin confirmată în cazul particulelor încărcate electric. Cel mai însemnat rezultat al teoriei speciale a relativităţii privea masă inertă a sistemelor materiale. A rezultat că inerţia unui sistem trebuie să depindă de conţinutul său în energie (Energie-Lnhalt) şi s-a ajuns de-a dreptul la concepţia că masă inertă nu este altceva decât energie latentă. Principiul conservării masei şi-a pierdut independenţa şi s-a contopit cu principiul conservării energiei.

Teoria specială a relativităţii, care nu a fost nimic altceva decât o continuare sistematică a electrodinamicii lui Maxwell şi Lorentz, a ridicat însă probleme ce nu au putut fi soluţionate în cadrul ei. Independenţa legilor fizice de starea de mişcare a sistemului de coordonate trebuia oare să fie limitată la mişcări de translaţie uniforme ale

sistemelor de coordonate unele faţă de altele? Ce are comun natură cu sistemele de coordonate introduse de noi şi cu starea lor de mişcare? Dacă pentru descrierea naturii este necesar să folosim un sistem de coordonate introdus în mod arbitrar, atunci alegerea stării sale de mişcare trebuie să nu fie supusă nici unei restricţii: legile ar trebui să fie cu totul independente de această alegere (principiul general al relativităţii).

Stabilirea acestui principiu general al relativităţii devine uşor de înţeles prin raportare la o experienţă de mult cunoscută, după care greutatea şi inerţia unui corp sunt guvernate de aceeaşi constantă (egalitatea masei inerte şi grele). Să ne gândim la un sistem de coordonate care este conceput în mişcare de rotaţie uniformă faţă de un sistem inerţial în sensul lui Newton. Forţele centrifuge ce intervin în raport cu acest sistem trebuie să fie concepute, în sensul teoriei lui Newton, ca efecte ale inerţiei. Aceste forţe centrifuge sunt însă, întocmai ca şi forţele gravitaţionale, proporţionale cu masa corpului. Nu s-ar putea să concepem sistemul de coordonate ca imobil, iar forţele centrifuge că forţe gravitaţionale? Concluzia este evidentă, dar mecanica clasică o interzice.

Această reflecţie fugară ne lasă să bănuim că o teorie generală a relativităţii trebuie să ofere legile gravitaţiei, iar urmărirea consecventă a ideii a îndreptăţit speranţa.

Dar drumul a fost mai greu decât s-ar putea crede, deoarece cerea renunţarea la geometria euclidiană. Aceasta înseamnă că legile după care se dispun în spaţiu corpurile solide nu concordă perfect cu legile de aşezare pe care le prescrie corpurilor geometria euclidiană. Aceasta se înţelege când se vorbeşte de „curbura spaţiului „. Conceptele de bază „linie „, „suprafaţă „etc. Pierd prin aceasta semnificaţia lor exactă în fizică.

În teoria generală a relativităţii, teoria spaţiului şi timpului, cinematica, nu mai joacă rolul unui fundament independent de restul fizicii. Comportarea geometrică a

corpurilor şi mersul ceasornicelor depind mai degrabă de câmpurile gravitaţionale care, la rândul lor, sunt generate de însăşi substanţa materială.

Din punct de vedere principial, noua teorie a gravitaţiei se îndepărtează considerabil de teoria lui Newton. Dar rezultatele ei practice sunt într-un acord atât de strâns cu cele ale teoriei newtoniene încât este greu să găsim criteriile de distincţie care sunt accesibile experienţei. [48] S-au găsit până acum următoarele: 1) În rotaţia elipselor traiectoriilor planetelor în jurul Soarelui (rotaţie confirmată la planeta Mercur).

2) În curbura razelor de lumină datorată câmpurilor gravitaţionale (confirmată de imaginile luate de englezi cu ocazia eclipsei de soare).

3) Într-o deplasare a liniilor spectrale spre extremitatea roşu a spectrului luminii transmise nouă de stele cu o masă considerabilă (până acum neconfirmată*).

Şi acest criteriu a fost între timp confirmat (nota editorului din anul 1934).

Puterea de atracţie principală a teoriei stă în coerenţa ei logică. Dacă una singură din consecinţele deduse din ea se va dovedi inexactă, ea va trebui să fie părăsită; o modificare pare să nu fie cu putinţă fără distrugerea întregului. [49]

Nimeni nu trebuie însă să-şi închipuie că prin această teorie, sau prin oricare alta, marea creaţie a lui Newton ar putea fi dată la o parte în sensul propriu al cuvântului. Ideile sale clare şi mari îşi vor păstra întotdeauna însemnătatea lor eminentă ca fundament al întregii noastre construcţii conceptuale moderne în domeniul filozofiei naturale.

Notă suplimentară: Observaţiile ziarului dumneavoastră privitoare la persoana mea şi la împrejurările vieţii mele izvorăsc în parte din fantezia demnă de invidiat a autorului lor. Iată încă o probă de aplicare a principiului relativităţii, spre desfătarea cititorului: astăzi eu sunt numit în Germania un „savant german „, iar în Anglia un „evreu

elveţian „; dacă însă, la un moment dat, s-ar ajunge la situaţia să fiu prezentat ca „bête noire „, atunci aş fi, invers, pentru germani un „evreu elveţian „, iar pentru englezi un „savant german „.

NOTE.

Politice ale zilei, era înserat şi următorul titlu: Răsturnare în ştiinţă. Teoria lui Newton a fost infirmată. În zilele următoare, Times şi alte ziare engleze, ca şi presa internaţională în general, au scris mult despre Einstein, care a devenit astfel primul om de ştiinţă din istorie cunoscut unui cerc foarte larg de oameni fără preocupări ştiinţifice. Curînd Einstein a răspuns solicitării ziarului de a scrie un articol de popularizare asupra teoriei relativităţii apreciind că poate contribui în acest fel la reluarea relaţiilor de colaborare dintre oamenii de ştiinţă din cele două ţări. Sforţările sale au fost încununate de succes. În vara anului 1921 Einstein a fost primul savant german care a vizitat după război Anglia.

Regiuni ale universului în care intensitatea câmpului gravitaţional nu depăşeşte o anumită limită.

FIZICĂ ŞI REALITATEA.

S-a spus deseori şi, desigur, nu pe nedrept, că omul de ştiinţă este un slab filozof. De ce atunci n-ar fi mai bine ca şi fizicianul să lase filozofarea în seama filozofilor? Se prea poate că lucrul acesta să fi fost valabil într-o epocă în care fizicienii credeau că dispun de un sistem solid de concepte fundamentale şi de legi fundamentale în afara oricărei îndoieli, nu însă într-o epocă în care întreg fundamentul fizicii a devenit problematic, cum se întâmplă astăzi. Într-o epocă cum este a noastră, când experienţa ne obligă să căutăm o bază nouă, mai solidă, fizicianul nu poate să lase pur şi simplu în seama filozofiei examinarea critică a fundamentelor teoretice, căci numai el cunoaşte şi simte cel mai bine punctul nevralgic; căutând un nou fundament, el trebuie să se edifice cât mai bine asupra justificării şi necesităţii conceptelor pe care le foloseşte.1

Întreaga ştiinţă nu este altceva decât o rafinare a gândirii de toate zilele. Ca urmare, gândirea critică a fizicianului nu se poate limita la examinarea conceptelor din propriul său domeniu special, ci trebuie să se oprească şi asupra gândirii de toate zilele, care este mult mai greu de analizat. [51]

Pe scena vieţii noastre psihice se perindă într-un şir pestriţ experienţe senzoriale, amintiri despre ele, reprezentări şi sentimente. Spre deosebire de psihologie, fizica are de a face (în mod direct) numai cu experienţe senzoriale şi cu „înţelegerea „conexiunilor dintre ele. Dar până şi conceptul de „lume exterioară reală „din gândirea de toate zilele se bazează exclusiv pe impresii senzoriale.

Să observăm mai întâi că nu se poate face o deosebire, în orice caz nu una certă, între impresiile senzoriale (senzaţii) şi reprezentări. Aici vom lăsa însă deoparte această problematică, ce priveşte şi conceptul de realitate şi vom lua experienţele senzoriale ca perceptibile şi date, ca trăiri psihice de un fel deosebit.

Cred că primul pas spre postularea unei „lumi exterioare reale „îl constituie formarea noţiunii de obiect corporal, respectiv de obiecte corporale de diverse feluri. Noi desprindem mental, în mod arbitrar, din multitudinea experienţelor noastre senzoriale, anumite complexe de senzaţii care se repetă (în parte asociate cu senzaţii ce sunt interpretate ca semne ale experienţelor senzoriale ale altor oameni) şi le ataşăm un concept acela de obiect corporal. Din punct de vedere logic, conceptul acesta nu este identic cu totalitatea acelor impresii senzoriale, ci este o creaţie liberă a spiritului uman (sau animal). Pe de altă parte însă, acest concept îşi datorează în mod exclusiv semnificaţia şi justificarea totalităţii acelor impresii senzoriale cărora le este asociat. [52]

Al doilea pas constă în aceea că, în gândirea noastră (care ne determină aşteptările), atribuim respectivului concept de obiect corporal o semnificaţie în mare măsură independentă de impresiile senzoriale în legătură cu care a

luat fiinţă. Asta este ceea ce avem în vedere atunci când atribuim obiectului corporal „existenţă reală „. Îndreptăţirea acestei postulări constă exclusiv în faptul că prin intermediul conceptelor de acest fel şi al relaţiilor mentale dintre ele izbutim să ne orientăm în labirintul impresiilor senzoriale. Aceste concepte şi relaţii deşi sunt construcţii libere ale gândirii ni se par mai solide şi mai statornice decât o experienţă senzorială individuală, de care nu suntem niciodată absolut siguri că n-are caracterul unei iluzii sau al unei halucinaţii. [53] Pe de altă parte, aceste concepte şi relaţii, îndeosebi postularea unor obiecte reale şi în general a unei „lumi reale „, se justifică numai în măsura în care sunt legate de experienţe senzoriale, între care stabilesc legături mentale.

Faptul însuşi că totalitatea experienţelor noastre senzoriale este de aşa natură încât poate fi ordonată prin gândire (prin operaţii cu concepte şi prin crearea şi aplicarea anumitor legături funcţionale dintre acestea, precum şi prin coordonarea experienţelor senzoriale cu conceptele) poate, desigur, să ne mire, dar niciodată nu va fi înţeles. S-ar putea spune că ceea ce va rămâne veşnic neinteligibil în privinţa lumii este inteligibilitatea ei. Lui Immanuel Kant îi revine marele merit de a-şi fi dat seama că fără această inteligibilitate recunoaşterea unei lumi exterioare reale ar fi lipsită de sens.

Expresia „inteligibilitate „(„Begreiflichkeit „), aşa cum o folosim aici, trebuie luată în accepţiunea ei cea mai modestă. Ea înseamnă: realizarea unei ordini între experienţele senzoriale, prin crearea de concepte generale şi de relaţii între aceste concepte, ca şi prin relaţii stabilite într-un fel oarecare între concepte şi experienţele senzoriale. În sensul acesta este inteligibilă lumea experienţelor noastre senzoriale, iar faptul că e inteligibilă este un miracol. [54]

Despre modul în care trebuie construite şi legate între ele conceptele, ca şi despre modul cum trebuie să le

coordonăm cu experienţele senzoriale, nu se poate spune, după părerea mea, nimic a priori. Numai succesul în edificarea unei ordini în experienţele senzoriale este cel care decide. Necesară este doar enunţarea de reguli privind legăturile dintre conceptele respective, căci altminteri nu ar fi posibilă o cunoaştere ca aceea spre care năzuim. Aceste reguli au fost comparate cu regulile unui joc, care sunt ca atare arbitrare, dar a căror respectare strictă face abia cu putinţă jocul. Fixarea acestor reguli nu va fi însă niciodată definitivă, ci se poate pretinde valabilă numai pentru un domeniu de aplicaţie determinat (cu alte cuvinte, nu există categorii definitive în sensul lui Kant).

Corelaţiile conceptelor elementare din gândirea curentă cu complexe de senzaţii pot fi sesizate numai în mod intuitiv şi nu sunt susceptibile de o determinare logic-ştiinţifică. Totalitatea acestor legături inexprimabile ele însele conceptual este singurul lucru ce deosebeşte edificiul ştiinţei de o schemă logică conceptuală goală; graţie acestor corelaţii, propoziţiile pur conceptuale ale ştiinţei devin enunţuri generale despre complexe de experienţe senzoriale.

Conceptele legate în mod direct şi intuitiv cu complexe tipice de experienţe senzoriale le vom numi „concepte primare „. Toate celelalte concepte au sens considerate din punct de vedere fizic numai în măsura în care se leagă, prin propoziţii, cu „conceptele primare „. Aceste propoziţii sunt în parte definiţii ale conceptelor (şi enunţuri deductibile logic din acestea), iar în parte propoziţii ce nu decurg din definiţii, ci enunţă, cel puţin indirect, relaţii între „concepte primare „şi deci între experienţe senzoriale. Propoziţiile de acest din urmă fel sunt „aserţiuni despre realitate „sau „legi ale naturii „, adică propoziţii care trebuie să fie confirmate (sich zu bewähren haben) prin raportare la experienţe senzoriale cuprinse sub concepte primare.6 Care dintre propoziţii trebuie considerate drept definiţii şi care drept legi ale naturii, aceasta depinde în mare măsură de

formularea aleasă; o atare diferenţiere este însă cu adevărat necesară numai atunci când vrem să aflăm în ce măsură întreg sistemul conceptual considerat posedă, din punct de vedere fizic, un conţinut.

Scopul ştiinţei este, întâi, cuprinderea şi conectarea conceptuală cât mai completă a experienţelor senzoriale în toată diversitatea lor, iar, în al doilea rând, atingerea acestui scop prin folosirea unui minim de concepte şi relaţii primare (năzuind spre unitatea cât mai logică a imaginii despre lume, adică spre simplitatea logică a bazei sale). [64]

Ştiinţa se foloseşte de întreaga multitudine a conceptelor primare, adică a conceptelor legate nemijlocit de experienţe senzoriale, ca şi de multitudinea propoziţiilor care leagă între ele aceste concepte. În primul ei stadiu de dezvoltare ea nu conţine nimic mai mult. Gândirea noastră de toate zilele se mulţumeşte, în linii mari, să rămână la această treaptă. Un spirit cu adevărat ştiinţific nu se poate împăca însă cu această situaţie, deoarece mulţimea de concepte şi relaţii ce se pot dobândi astfel este total lipsită de unitate logică. Pentru a remedia acest neajuns, el inventează un sistem mai sărac în concepte şi relaţii, ce cuprinde conceptele şi relaţiile primare din „primul strat „în calitate de concepte şi relaţii logic derivate. Preţul care se plăteşte pentru gradul mai înalt de unitate logică al acestui nou sistem, „secundar „, constă în faptul că noţiunile sale iniţiale (conceptele din „stratul al doilea „) nu mai sunt legate nemijlocit de complexe de experienţe senzoriale. Năzuinţa continuă spre simplitate logică duce la edificarea unui sistem terţiar, cu un număr şi mai mic de concepte şi relaţii, din care să poată fi deduse conceptele şi relaţiile aparţinând stratului secundar (şi astfel, indirect şi cele din stratul primar). Lucrurile continuă în acest fel, până când ajungem la un sistem a cărui bază logică se caracterizează prin cea mai mare unitate şi economie de concepte imaginabilă, compatibil cu ansamblul datelor

furnizate de simţuri. Nu ştim dacă în felul acesta vom ajunge vreodată la un sistem definitiv. Când ni se cere părerea, înclinăm să răspundem că nu; dar când ne confruntăm efectiv cu problemele, suntem animaţi de speranţa că acest ţel suprem poate realmente să fie atins într-o mare măsură.

Un adept al teoriei abstracţiei sau a inducţiei ar numi straturile despre care am vorbit mai înainte „grade de abstractizare „. Mie însă mi se pare greşit să disimulăm independenţa logică a conceptelor faţă de experienţele senzoriale; nu avem de-a face aici cu o relaţie cum este cea dintre supă şi carnea din care este preparată, ci mai degrabă cu una de felul celei ce există între numărul de la garderobă şi pardesiu.

În plus, straturile nu sunt net delimitate între ele. Nu este cu totul clară nici apartenenţa unui concept la stratul primar. De fapt, este vorba de concepte construite în mod liber, legate în mod intuitiv de complexe de experienţe senzoriale cu o siguranţă suficientă pentru aplicare, astfel încât să nu existe incertitudine în constatarea acordului sau dezacordului unei propoziţii cu o experienţă particulară. Esenţială este doar năzuinţa de a reprezenta multitudinea conceptelor şi propoziţiilor apropiate de experienţă ca fiind deduse logic dintr-o bază cât mai restrânsă de concepte şi relaţii fundamentale, care pot fi, ele însele, liber alese (axiome). Această libertate de alegere nu este însă fără limite; ea nu seamănă cu libertatea unui romancier, ci mai curînd cu libertatea unui om căruia i s-a dat să rezolve un joc de cuvinte încrucişate bine conceput. El poate propune, ce-l drept, ca soluţie orice cuvânt vrea; dar de fapt există unul singur care realmente rezolvă jocul în toate părţile lui. Că natura, aşa cum este ea accesibilă simţurilor noastre, are caracterul unui asemenea joc de cuvinte încrucişate bine făcut este o credinţă pe care, ce-l drept, succesele de până acum ale ştiinţei o încurajează întru câtva. [65]

Multitudinea de straturi despre care am vorbit mai sus corespunde progreselor realizate în cursul dezvoltării în lupta pentru unitatea bazei. Din perspectiva ţelului final, straturile intermediare au doar o valoare temporară, urmând să dispară la sfârşit ca irelevante. Noi avem de-a face însă cu ştiinţa de astăzi, în care aceste straturi reprezintă succese parţiale problematice, care se susţin reciproc, dar se şi primejduiesc reciproc; căci sistemul conceptual de astăzi conţine incongruenţe profunde, de care ne vom izbi mai târziu.

Scopul rândurilor care urmează este să arăt pe ce căi a păşit spiritul uman constructor spre a ajunge la o bază conceptuală cât mai unitară din punct de vedere logic a fizicii.

O proprietate importantă a experienţelor noastre senzoriale, ca şi a experienţelor noastre în general, este ordinea lor temporală. Această proprietate de ordine duce la construirea mentală a timpului subiectiv, o schemă ordonatoare pentru experienţele noastre. Timpul subiectiv, cum vom vedea mai departe, duce apoi, prin conceptul de obiect corporal şi de spaţiu, la conceptul de timp obiectiv.

Conceptului de timp obiectiv îi precedă însă cel de spaţiu, iar acestuia îi precedă conceptul de obiect corporal; ultimul este legat în mod direct cu complexe de experienţe senzoriale. O proprietate caracteristică a conceptului de „obiect corporal „constă, după cum s-a arătat, în aceea că noi corelăm cu un asemenea obiect o existenţă independentă de timp (de „timpul subiectiv „) şi independentă de perceperea lui senzorială. Facem asta în ciuda faptului că percepem în el schimbări temporale. După cum a evidenţiat pe bună dreptate Poincaré, la obiectele corporale deosebim două feluri de schimbări „schimbări de stare „şi „schimbări de poziţie „; acestea din urmă sunt, spunea el, acele schimbări pe care le putem anula prin mişcări arbitrare ale corpului nostru.

Că există obiecte corporale cărora înăuntrul unui anumit domeniu perceptual nu trebuie să le atribuim nici un fel de schimbări de stare, ci doar schimbări de poziţie, este un fapt de importanţă fundamentală pentru formarea conceptului de spaţiu (iar într-o anumită măsură chiar şi pentru justificarea noţiunii de obiect corporal); vom conveni să spunem despre un asemenea obiect că este „practic rigid „.

Dacă considerăm simultan ca obiect al percepţiei noastre două corpuri practic rigide, altfel spus dacă considerăm două asemenea corpuri ca formând un întreg, pentru acest întreg vor exista schimbări ce nu vor putea fi considerate drept schimbări de poziţie ale întregului,

Deşi ele sunt schimbări de poziţie pentru fiecare dintre componente. Aceasta duce la noţiunea de „schimbare a poziţiei relative „a celor două obiecte şi implicit şi la noţiunea de „poziţie relativă „a celor două obiecte. Se vădeşte, mai departe, că printre poziţiile relative există una de un fel aparte, pe care o numim „contact „*. Contactul permanent între două corpuri în trei sau mai multe „puncte „înseamnă unirea lor într-un corp compus (cvasirigid). Se poate spune că primul corp a fost prelungit în mod cvasi-rigid prin cel de-al doilea, care poate fi şi el, la rândul său, prelungit în mod cvasi-rigid. Posibilitatea prelungirii cvasi-rigide a unui corp este nelimitată. Esenţialul imaginarei prelungiri cvasi-rigide a unui corp K0 îl constituie „spaţiul „infinit determinat de ea.

După părerea mea, faptul că fiecare corp, situat într-un fel oarecare, poate fi pus în contact cu prelungirea cvasi-rigidă a unui anumit corp K0 arbitrar ales (corpul de referinţă) constituie baza empirică a conceptului nostru de spaţiu. În gândirea preştiinţifică, scoarţa solidă a Pământului joacă rolul lui K0 şi al prelungirii sale. Însuşi numele de geometrie ne sugerează că noţiunea de spaţiu este legată psihologic cu Pământul în calitate de corp de referinţă. [66]

Îndrăzneaţa noţiune de spaţiu, care a precedat orice geometrie ştiinţifică, a transformat pe plan mintal conceptul de relaţii de poziţie între obiecte corporale în conceptul de poziţie a obiectelor corporale „în spaţiu „. Aceasta reprezintă, în sine, deja o mare simplificare formală. Graţie acestei transformări, orice enunţ referitor la poziţie este implicit un enunţ privitor la contact; enunţul că un punct al unui obiect corporal se află în punctul P din spaţiu înseamnă că obiectul atinge cu punctul resŢine de natura lucrurilor că nu putem vorbi despre toate acestea decât folosind concepte construite de noi, ce nu pot fi definite. Esenţial e însă că folosim numai concepte de a căror coordonare cu materialul experienţei noastre avem dreptul să ne socotim siguri.

Pectiv punctul P al corpului de referinţă K0 (pe care-l presupunem prelungit în mod corespunzător).

În geometria grecilor spaţiul joacă numai un rol aşa zicând calitativ: poziţia corpurilor era gândita, ce-l drept, în raport cu el, dar nu era descrisă prin numere. Descartes a fost primul care, mai târziu, a făcut acest lucru. În limbajul său, întregul conţinut al geometriei euclidiene poate fi întemeiat axiomatic pe următoarele enunţuri: (1) Două puncte specificate ale unui corp rigid determină un segment de dreaptă. (2) Putem asocia punctelor din spaţiu triplete de numere X1 X2 X3 astfel încât pentru orice segment P’ – P’ ale cărui capete au coordonatele X’1 X’2 X’3 X’1 X’2 X’3 expresia s2 = (X’1 – X’1)2 + (X’2 – X’2)2 + (X’3 – X’3)2

Să fie independentă de poziţia corpului respectiv şi a tuturor celorlalte corpuri. Numărul (pozitiv) s se numeşte lungimea segmentului sau distanţa dintre cele două puncte spaţiale P’ şi P’ (care coincid cu punctele P’ şi P’ ale segmentului).

Formularea este anume aleasă de aşa manieră, încât să evidenţieze clar nu numai conţinutul logico-axiomatic, ci şi pe cel empiric al geometriei euclidiene. Prezentarea pur logică (axiomatică) a geometriei euclidiene are, ce-l drept,

avantajul unei mai mari clarităţi şi simplităţi. Avantajul acesta este plătit însă prin renunţarea la reprezentarea legăturii dintre construcţia conceptuală şi experienţa senzorială, legătură pe care se sprijină în mod exclusiv semnificaţia geometriei pentru fizică. Eroarea fatală de a crede că geometria euclidiană şi conceptul de spaţiu cu care operează ea au la bază o necesitate a gândirii anterioară oricărei experienţe a izvorât din faptul că a fost dată uitării baza empirică pe care se sprijină construcţia axiomatică a geometriei euclidiene. [67]

În măsura în care putem vorbi de existenţa corpurilor rigide în natură, geometria euclidiană este o ştiinţă fizică ce trebuie confirmată prin confruntarea cu experienţa senzorială. Ea se referă la totalitatea propoziţiilor ce trebuie să fie valabile pentru poziţiile relative ale corpurilor rigide independent de timp. După cum se vede, conceptul fizic de spaţiu, aşa cum a fost folosit iniţial în fizică, este legat şi el de existenţa corpurilor rigide.

Din punct de vedere fizic, importanţa centrală a geometriei euclidiene constă în aceea că, independent de natura specifică a corpurilor despre a căror poziţie relativă este vorba, enunţurile ei pretind a fi valabile. Simplitatea ei formală este caracterizată prin proprietăţile de omogenitate şi izotropie (şi existenţa unor entităţi asemănătoare).

Pentru geometria propriu-zisă, adică pentru formularea regularităţilor privitoare la poziţiile relative ale corpurilor rigide, conceptul de spaţiu este, ce-l drept, util, însă nu şi indispensabil. În schimb, conceptul de timp obiectiv, fără de care nu este posibilă formularea fundamentelor mecanicii clasice, este legat de conceptul de continuu spaţial.

Introducerea timpului obiectiv constă în două aserţiuni reciproc independente: (1) Introducerea timpului local obiectiv, prin corelarea şirului temporal al existenţelor cu indicaţiile unui „ceasornic „, adică ale unui sistem închis cu mişcare periodică.

(2) Introducerea conceptului de timp obiectiv pentru evenimentele din întregul spaţiu, prin care, abia, noţiunea de timp local este lărgită până la noţiunea de timp din fizică.

Observaţie la (1). După părerea mea, nu comitem un petiţio principii punând noţiunea de mişcare periodică înaintea celei de timp, când e vorba de clarificarea originii şi a conţinutului empiric al noţiunii de timp. Această concepţie corespunde întru totul primordialităţii conceptului de corp rigid (respectiv cvasi-rigid) în interpretarea noţiunii de spaţiu.

Dezvoltare la punctul (2). Iluzia care a domnit înainte de formularea teoriei relativităţii, că ar fi a priori clar din punctul de vedere al experienţei ce înseamnă simultaneitatea în raport cu evenimentele distanţate în spaţiu şi ce înseamnă timpul fizic în general îşi are originea în faptul că în experienţa cotidiană putem neglija timpul de propagare a luminii. Suntem obişnuiţi de aceea să nu deosebim între „simultan „şi „a se întâmpla simultan „, ceea ce duce la ştergerea deosebirii dintre timp şi timp local.

Imprecizia ce afectează noţiunea de timp a mecanicii clasice, din punctul de vedere al semnificaţiei ei empirice, a fost ascunsă în prezentările axiomatice, prin aceea că ele au tratat spaţiul şi timpul ca pe un dat independent de experienţele senzoriale. O asemenea ipostaziere (autonomizare) a unor noţiuni nu este neapărat păgubitoare pentru ştiinţă; ea poate însă lesne să genereze eroarea de a uita originea empirică a acestor noţiuni şi de a le considera drept necesităţi înscrise în structura gândirii şi prin aceasta imuabile, ceea ce poate deveni o primejdie reală pentru progresul ştiinţei.11

Pentru dezvoltarea mecanicii şi implicit a fizicii în general a fost un noroc că gânditorilor mai de demult le-a rămas ascunsă imprecizia aferentă conceptului de timp obiectiv în privinţa interpretării lui empirice. Cu deplină încredere în semnificaţia reală a construcţiei spaţio-temporale a fost

edificat fundamentul mecanicii, care poate fi caracterizat în felul următor: (a) Conceptul de punct material: obiect corporal care, în ce priveşte poziţia şi mişcarea, poate fi descris cu suficientă precizie drept un punct cu coordonatele x1 x2 x3 Descrierea mişcării sale (în raport cu „spaţiul „K0) luând x1 x2 x3 ca funcţii de timp.

(b) Legea inerţiei: dispariţia componentelor acceleraţiei pentru un punct material care este suficient depărtat de toate celelalte.

(c) Legea mişcării (punctului material): forţa = masa ´ acceleraţia.

(d) Legile forţei (ale acţiunii reciproce între puncte materiale).

Aici (b) nu este decât un caz special important al lui (c). O teorie reală există doar atunci când sunt date legile forţei; forţele trebuie mai întâi să satisfacă doar legea egalităţii acţiunii şi reacţiunii, pentru ca un sistem de puncte legate permanent în spaţiu prin forţe unul de altul să se comporte ca un singur punct material. Aceste legi fundamentale, împreună cu legea newtoniană a forţei gravitaţionale, formează baza mecanicii cereşti clasice. În această mecanică a lui Newton, prin contrast cu concepţia despre spaţiu expusă mai sus şi derivată din ideea de corp rigid, spaţiul K0 intervine într-un mod ce pune în joc un element nou: valabilitatea lui (b) şi (c) nu este cerută (considerând dată legea forţei) pentru orice K0 ci numai pentru asemenea K0 care se află într-o stare de mişcare corespunzătoare (sistemele inerţiale)*. Prin aceasta, spaţiul de coordonate dobândeşte o proprietate fizică independentă, absentă din noţiunea pur geometrică de spaţiu-fapt care i-a dat multă bătaie de cap lui Newton (experimentul cu vasul).

Mecanica clasică este doar o schemă generală; ea devine o teorie abia prin indicarea explicită a legilor forţei (d), aşa cum a făcut cu atâta succes Newton pentru mecanică cerească. Din punctul de vedere al obiectivului maximei

simplităţi logice a fundamentelor, această metodă teoretică prezintă neajunsul că legile forţei nu pot fi obţinute prin consideraţii logice şi formale, astfel încât alegerea lor este în mare măsură a priori arbitrară. Legea gravitaţională a forţei formulată de Newton se deosebeşte exclusiv prin succesul ei de alte legi ale forţei care se pot concepe.

Acest defect al teoriei ar fi putut fi remediat numai printr-o asemenea formulare a mecanicii, care să rămână valabilă pentru orice K0 Acesta este unul din paşii care au condus la teoria generală a relativităţii. Un al doilea defect, care se elimină tot aşa, numai prin introducerea teoriei generale a relativităţii, constă în aceea că în cadrul mecanicii nu există nici o raţiune pentru egalitatea masei inerţiale a punctului material cu masa lui gravitaţională.

În ciuda faptului că astăzi ştim în mod pozitiv că mecanica clasică nu oferă un fundament satisfăcător pentru întreaga fizică, ea continuă să stea în centrul întregii noastre gândiri în fizică. Motivul e că, cu totul progresul important realizat de la Newton încoace, noi nu am ajuns încă la un nou fundament al fizicii din care să fim siguri că s-ar putea deduce logic întreaga complexitate a fenomenelor cercetate şi a sistemelor teoretice parţiale încununate de succes. Voi încerca, în cele ce urmează, să descriu pe scurt cum stau lucrurile în această privinţă.

Să încercăm mai întâi să stabilim clar în ce măsură sistemul mecanicii clasice s-a dovedit apt să servească drept bază pentru întreaga fizică. Cum ceea ce ne preocupă aici sunt numai fundamentele fizicii şi evoluţia lor, putem lăsa deoparte progresele pur formale ale mecanicii (ecuaţiile lui Lagrange, ecuaţiile canonice etc.). Doar o observaţie pare a fi indispensabilă. Noţiunea de „punct material „este fundamentală pentru mecanică. Dacă vom căuta acum mecanica unui obiect corporal ce nu poate fi tratat el însuşi ca punct material or, strict vorbind, orice obiect „perceptibil prin simţuri „aparţine acestei categorii se pune întrebarea: Cum ne vom imagina obiectul ca

alcătuit din puncte materiale şi ce forţe trebuie să admitem că acţionează între ele? Formularea acestei întrebări este indispensabilă, dacă mecanica pretinde să ofere o descriere completă a obiectelor.

Stă în tendinţa firească a mecanicii să presupună că aceste puncte materiale şi legile forţelor ce acţionează între ele sunt invariabile, dat fiind că modificările temporale s-ar afla în afara domeniului explicaţiei mecanice. Vedem de aici că mecanica clasică trebuie să ne ducă în mod necesar la o construcţie atomistă a materiei. Înţelegem acum cu deosebită claritate cât de mult greşesc acei teoreticieni ai cunoaşterii care cred că teoria ia naştere inductiv din experienţă. Nici măcar marele Newton n-a putut evita această eroare („Hypotheses non fingo „). [69]

Spre a nu se pierde fără speranţă în această linie de gândire (atomistă), ştiinţa procedează mai întâi în felul următor. Mecanica unui sistem este determinată dacă energia lui potenţială este dată ca funcţie de configuraţia lui. În cazul când forţele ce acţionează în el sunt de aşa natură încât garantează menţinerea anumitor calităţi de ordine ale configuraţiei sistemului, atunci configuraţia poate fi descrisă cu destulă acurateţe printr-un număr relativ mic de variabile de configuraţie qr; energia potenţială este considerată numai în măsura în care depinde de aceste variabile de configuraţie (de exemplu, descrierea configuraţiei unui corp practic rigid cu ajutorul a şase variabile).

Un al doilea mod de aplicare a mecanicii care evită considerarea unei divizări a materiei ce-ar merge până la punctele ei materiale „reale „este mecanica aşa-numitelor medii continue. Aceasta se caracterizează prin ficţiunea că densitatea materiei şi viteza ei sunt continuu dependente de coordonate de timp şi că acea parte a interacţiunilor care nu este dată în mod explicit poate fi considerată drept forţe superficiale (forţe de presiune) ce sunt de asemenea funcţii continue ale poziţiei. De aceasta ţin teoria

hidrodinamică şi teoria elasticităţii corpurilor solide. Aceste teorii evită introducerea explicită a punctelor materiale, prin ficţiuni care, în raport cu fundamentul mecanicii clasice, nu pot avea decât o semnificaţie aproximativă.

Pe lângă marea lor însemnătate practică, aceste discipline ştiinţifice au creat prin extinderea universului ideilor matematice acele instrumente formale auxiliare (ecuaţiile diferenţiale parţiale) de care era nevoie pentru încercările ulterioare de a da o nouă fundamentare a întregii fizici în comparaţie cu cea a lui Newton.

Aceste două moduri de aplicare a mecanicii aparţin aşa-numitei fizici „fenomenologice „. Pentru acest fel de fizică este caracteristic că uzează de concepte cât mai apropiate de experienţă, dar care, tocmai de aceea, trebuie să renunţe în mare măsură la unitatea fundamentelor. Căldura, electricitatea şi lumina sunt descrise prin variabile de stare speciale şi prin constante speciale ale materiei alături de stările mecanice, iar determinarea tuturor acestor variabile în dependenţa lor reciprocă şi temporală a fost o problemă care a putut fi soluţionată în esenţă numai pe căi empirice. Mulţi dintre contemporanii lui Maxwell vedea în modul acesta de prezentare scopul ultim al fizicii, la care îşi închipuiau că se poate ajunge pe cale pur inductivă prin experienţă, dată fiind relativa proximitate de experienţă a conceptului utilizate. Din punct de vedere gnoseologic, J. St. Mill şi E. Mach au susţinut oarecum acest punct de vedere. [70]

În ce mă priveşte, cred că cea mai mare realizare a mecanicii lui Newton constă în faptul că aplicarea ei consecventă a dus la depăşirea acestui punct de vedere fenomenologic, îndeosebi în studiul fenomenelor termice. Aceasta s-a realizat prin teoria cinetică a gazelor şi, în general, prin mecanica statistică. Prima a legat ecuaţia de stare a gazelor ideale, viscozitatea, difuziunea şi conductivitatea termică a gazelor şi fenomenele radiometrice ale gazelor, stabilind o conexiune logică între

fenomene care, din punctul de vedere al experienţei nemijlocite, n-aveau nimic comun. Cea din urmă a condus la o interpretare mecanică a ideilor şi legilor termodinamicii, ca şi la descoperirea limitei de aplicabilitate a ideilor şi legilor teoriei clasice a căldurii. Această teorie cinetică nu numai că a depăşit cu mult fizica fenomenologică în privinţa unităţii logice a fundamentelor, dar a produs pe deasupra şi valori determinate pentru mărimile adevărate ale atomilor şi moleculelor, obţinute prin câteva metode independente, în afara oricărei îndoieli rezonabile. Aceste progrese decisive au fost obţinute cu preţul corelării punctelor materiale cu configuraţii reale (atomi, respectiv molecule) al căror caracter constructiv-speculativ era evident. Nimeni nu putea spera că va putea vreodată „să perceapă direct „un atom. Legi referitoare la mărimi de stare situate aproape de nivelul observaţiei (cum sunt temperatura, presiunea, viteza) erau deduse din ideile fundamentale prin calcule complicate. În felul acesta fizica (sau cel puţin o parte a ei), construită iniţial într-o manieră mai „fenomenologică „, a fost redusă, prin fundarea ei pe mecanica newtoniană a atomilor şi moleculelor, la o bază şi mai îndepărtată de experienţă, dar având un caracter mai uniform.

Mecanica newtoniană a izbutit mult mai puţin în explicarea fenomenelor optice şi electrice decât în domeniile discutate în cele de mai sus. E adevărat că Newton, în teoria sa corpusculară a luminii, a încercat să reducă lumină la mişcarea unor puncte materiale. Ulterior însă, pe măsură ce fenomenele de polarizare, difracţie şi interferenţă a luminii au impus teoriei sale modificări din ce în ce mai nefireşti, s-a impus teoria ondulatorie a luminii a lui Huyghens. Naşterea acestei teorii s-a datorat în primul rând fenomenelor optice ale cristalelor şi teoriei sunetului, pe atunci deja elaborată într-o anumită măsură. Este adevărat că şi teoria lui Huyghens s-a bazat la început pe mecanica clasică. Dar ca purtător al mişcărilor ondulatorii a

trebuit introdus eterul ce pătrunde toate corpurile şi a cărui constituţie bazată pe particule materiale nu putea fi explicată prin nici un fenomen cunoscut. Nu s-a putut ajunge niciodată la o imagine clară asupra forţelor interne ce guvernează eterul, nici asupra forţelor ce acţionează între eter şi materia „ponderabilă „. Aşa se face că fundamentele acestei teorii au rămas tot timpul învăluite în beznă. Adevărata bază era o ecuaţie diferenţială parţială a cărei reducere la elemente mecanice a rămas întotdeauna problematică.

Pentru înţelegerea teoretică a fenomenelor electrice şi magnetice au fost introduse din nou mase de un fel deosebit şi s-a admis existenţa între aceste mase a unor forţe cu acţiune la distanţă, similare forţelor gravitaţionale ale lui Newton. Aceste feluri speciale de materie păreau însă lipsite de proprietatea fundamentală a inerţiei; iar forţele ce acţionau între aceste mase şi materia ponderabilă rămâneau obscure. Acestor dificultăţi li s-a adăugat caracterul polar al respectivelor feluri de materie, ce nu se încadra în schema mecanicii clasice. Baza teoriei a ajuns şi mai nesatisfăcătoare atunci când au devenit cunoscute fenomenele electrodinamice, cu toate că aceste fenomene îl conduceau pe fizician la explicarea fenomenelor magnetice prin cele electrodinamice, făcând astfel de prisos ipoteza maselor magnetice (Einstein foloseşte aici expresia „masă „pentru sarcină ca să sublinieze analogia cu mecanica n.t.). Acest progres s-a realizat cu preţul sporirii complexităţii forţelor de interacţiune ce trebuiau admise că existând între masele electrice în mişcare.

Ieşirea din această situaţie supărătoare graţie teoriei câmpului electric a lui Faraday şi Maxwell reprezintă probabil cea mai profundă transformare suferită de fundamentele fizicii de la Newton încoace. S-a făcut din nou un pas în direcţia speculaţiei constructive, care a mărit distanţa dintre fundamentul teoriei şi nivelul percepţiei senzoriale. Într-adevăr, existenţa câmpului se manifestă

numai când în el sunt introduse corpuri încărcate electric. Ecuaţiile diferenţiale ale lui Maxwell leagă coeficienţii diferenţiali spaţiali şi temporali ai câmpurilor electric şi magnetic. Masele electrice nu sunt altceva decât locuri în care divergenţa câmpului electric nu se anulează. Undele optice apar că procese de câmp electromagnetice ondulatorii ce se desfăşoară în spaţiu.

Maxwell a încercat, ce-l drept, să dea o interpretare mecanică teoriei sale a câmpului, cu ajutorul unor modele mecanice ale eterului. Aceste încercări au fost însă treptat împinse în umbră în urma reprezentării purificată de orice adaosuri superflue a lui Heinrich Hertz, astfel încât în această teorie câmpul a ocupat în cele din urmă poziţia fundamentală pe care în mecanica newtoniană o deţinuseră punctele materiale. Iniţial însă aceasta se aplică numai pentru câmpuri electromagnetice în spaţiul vid.

La început teoria a fost total inoperantă pentru interiorul materiei, fiindcă aici trebuiau introduşi doi vectori electrici legaţi prin relaţii dependente de natura mediului şi inaccesibile analizei teoretice. O situaţie analogă s-a ivit în legătură cu câmpul magnetic, ca şi în relaţia dintre densitatea curentului electric şi câmp.

H. A. Lorentz a găsit aici o ieşire care a arătat în acelaşi timp calea spre o teorie electrodinamică a corpurilor în mişcare, teorie într-o anumită măsură liberă de supoziţii arbitrare. Teoria sa a fost construită pe următoarea ipoteză fundamentală:

Pretutindeni (inclusiv în interiorul corpurilor ponderabile) sediul câmpului este spaţiul vid. Participarea materiei la fenomene electromagnetice îşi are originea numai în faptul că particulele elementare de materie poartă sarcini electrice imuabile, fiind de aceea supuse pe de o parte la acţiunile unor forţe ponderomotoare, iar pe de altă parte având proprietatea de a genera un câmp. Particulele elementare ascultă de legea newtoniană a mişcării pentru punctul material.

Aceasta este baza pe care H. A. Lorentz a realizat sinteza să între mecanica lui Newton şi teoria câmpului a lui Maxwell. Neajunsul acestei teorii ţine de faptul că ea încearcă să determine fenomenele combinând ecuaţii diferenţiale parţiale (ecuaţiile maxwelliene ale câmpului pentru spaţiul vid) cu ecuaţii diferenţiale totale (ecuaţii de mişcare a punctelor), procedeu evident nenatural. Partea nesatisfăcătoare a acestei concepţii s-a vădit în exterior prin necesitatea admiterii unor dimensiuni finite pentru particule, pentru a împiedica astfel câmpul electromagnetic existent pe suprafeţele lor să devină infinit de mare. În plus, teoria n-a izbutit să ofere nici o explicaţie asupra naturii uriaşelor forţe ce ţin sarcinile electrice în particule individuale. H. A. Lorentz a acceptat aceste slăbiciuni ale teoriei sale, care-l erau bine cunoscute, pentru a putea explica fenomenele corect măcar în liniile lor generale.

Următoarea consideraţie a permis ieşirea dincolo de cadrele lui Lorentz. În vecinătatea unui corp încărcat electric există un câmp magnetic ce contribuie (aparent) la inerţia lui. N-ar fi oare posibil să se dea o explicaţie electromagnetică inerţiei totale a particulelor? Este clar că această problemă nu putea fi soluţionată satisfăcător decât dacă particulele puteau fi interpretate drept soluţii regulate ale ecuaţiilor diferenţiale parţiale electromagnetice. Or, ecuaţiile lui Maxwell în forma lor originară nu permit o asemenea descriere a particulelor, deoarece soluţiile lor corespunzătoare conţin o singularitate. Fizicienii teoreticieni au încercat de aceea mult timp să atingă scopul menţionat printr-o modificare a ecuaţiilor lui Maxwell. Aceste încercări însă n-au fost încununate de succes. Aşa se face că obiectivul edificării unei teorii a materiei sub forma unei teorii electromagnetice pure a câmpului n-a putut fi atins pentru moment, deşi în principiu nu se putea ridica nici o obiecţie împotriva posibilităţii realizării unui asemenea obiectiv. Ceea ce a descurajat continuarea încercărilor în această direcţie a fost lipsa oricărei metode

sistematice care să ducă la o soluţie. Un lucru mi se pare însă sigur: în fundamentele unei teorii consecvente a câmpului nu este permis să intervină, alături de conceptul de câmp, conceptul de particulă. Întreaga teorie trebuie bazată numai pe ecuaţii diferenţiale parţiale şi pe soluţiile lor fără singularităţi. [71]

Nu există nici o metodă inductivă pe baza căreia să se obţină conceptele fundamentale ale fizicii. Neînţelegerea acestui fapt a reprezentat eroarea filozofică principală a unui mare număr de cercetători din secolul al XIX-lea. Aceasta a fost probabil cauza pentru care teoria moleculară şi teoria lui Maxwell s-au putut impune numai la o dată relativ târzie. [72] Gândirea logică este în mod necesar deductivă; ea se întemeiază pe concepte şi axiome ipotetice. Ce ne îndreptăţeşte aşteptarea că le-am putea alege pe acestea din urmă în aşa fel încât să sperăm în confirmarea consecinţelor lor?

Situaţia cea mai satisfăcătoare se poate întâlni, evident, în acele cazuri în care noile ipoteze fundamentale sunt sugerate de însăşi lumea experienţei. Ipoteza inexistenţei unui perpetuum mobile că bază a termodinamicii este un asemenea exemplu de ipoteză fundamentală sugerată de experienţă, tot astfel şi principiul inerţiei al lui Galilei. De acelaşi gen sunt şi ipotezele fundamentale ale teoriei relativităţii, teorie care a condus la o extindere nebănuită şi la o dezvoltare a teoriei câmpului şi în final la prăbuşirea bazelor mecanicii clasice. [73]

Succesele teoriei Maxwell–Lorentz au dat o mare încredere în validitatea ecuaţiilor electromagnetismului pentru spaţiul vid şi, de asemenea, în particular, în ideea că lumina se propagă „în spaţiu „cu o anumită viteză constantă c. Această afirmaţie asupra constanţei vitezei de propagare a luminii este validă în raport cu orice sistem inerţial? Dacă n-ar fi, atunci un anumit sistem inerţial special, mai exact o anumită stare a mişcării (a unui corp de referinţă) ar fi privilegiată în raport cu toate celelalte. Împotriva acestei

idei pledează totuşi toate faptele de experienţă mecanice, electromagnetice şi optice.

A fost de aceea necesar ca validitatea legii constanţei vitezei luminii să fie ridicată la rangul de principiu pentru toate sistemele inerţiale. Din aceasta decurgea necesitatea transformării coordonatelor spaţiale x1 x2 x3 şi a timpului x4 în cazul trecerii de la un sistem inerţial la altul, în conformitate cu „transformarea Lorentz „ce se caracterizează prin invarianţa expresiei:

Ds2 = dx1 2 + dx2 2 + dx3 2 – dx4 2 (dacă se alege unitatea pentru timp astfel încât viteza luminii c = 1).

Prin aceasta timpul şi-a pierdut caracterul lui absolut şi a fost inclus printre coordonatele „spaţiale „având natură algebrică (aproape) similară. Caracterul absolut al timpului şi în special al simultaneităţii a fost distrus,

Iar descrierea cvadridimensională a fost introdusă ca singura adecvată.

Pentru a explica echivalenţa tuturor sistemelor inerţiale în raport cu toate fenomenele naturii este necesar să se postuleze invarianţa tuturor sistemelor de ecuaţii fizice ce exprimă legi generale în raport cu transformarea Lorentz. Realizarea acestei exigenţe formează conţinutul teoriei speciale a relativităţii.

Această teorie este compatibilă cu ecuaţiile lui Maxwell; dar ea este incompatibilă cu bazele mecanicii clasice. Este adevărat că ecuaţiile de mişcare ale punctului material pot fi modificate şi o dată cu ele şi expresiile impulsului şi energiei cinetice ale punctului material) într-o asemenea manieră încât să fie satisfăcută teoria; dar conceptul forţei de interacţiune şi, o dată cu el, conceptul de energie potenţială a unui sistem îşi pierd temeiul deoarece aceste concepte se bazează pe ideea caracterului absolut al simultaneităţii. Câmpul, aşa cum este el determinat de ecuaţiile diferenţiale, ia locul forţei.

Întrucât teoria de mai sus permite interacţiunile reciproce numai prin mijlocirea câmpurilor, ea cere o teorie de câmp

a gravitaţiei. Într-adevăr, nu e dificil să se formuleze o asemenea teorie în care, ca şi în teoria lui Newton, câmpul gravitaţional să se poată reduce la un scalar care reprezintă soluţia unei ecuaţii diferenţiale cu derivate parţiale. Cu toate acestea, faptele experimentale pe care le exprimă teoria newtoniană a gravitaţiei ne conduc în altă direcţie, aceea a teoriei generale a relativităţii.

Un aspect nesatisfăcător al fundamentelor mecanicii clasice constă în dublul rol în care apare aceeaşi constantă a masei; ca „masă inerţială „, în legea de mişcare şi că „masă gravitaţională „, în legea gravitaţiei. Ca urmare a acestui fapt, acceleraţia unui corp într-un câmp gravitaţional pur este independentă de natura lui materială; sau, într-un sistem de coordonate în acceleraţie uniformă (accelerat în raport cu un „sistem inerţial „), mişcările se desfăşoară ca şi când ar avea loc într-un câmp gravitaţional omogen (în raport cu un sistem de coordonate „în repaus „). Dacă se admite că echivalenţa acestor două cazuri este completă, atunci se obţine o adaptare a gândirii noastre teoretice la faptul că masa gravitaţională şi cea inerţială sunt identice.

Cu aceasta cade privilegierea, ca principiu fundamental, a „sistemelor inerţiale „; va trebui să admitem că egal îndreptăţite şi transformările de coordonate neliniare (x1 x2 x3 x4). Dacă facem o asemenea transformare a unui sistem de coordonate al teoriei speciale a relativităţii, atunci metrica ds2 = dx1 2 + dx2 2 + dx [60] 2 – dx4 2

Trece într-o metrică generală (riemannianã a lui Baue)

Ds2 = gmndxmdxn (însumaţi după mşi n)

Unde gmn, simetrice în raport cu m şi n, sunt anumite funcţii de x1., x [61] care descriu atât proprietăţile metrice cât şi câmpul gravitaţional al spaţiului în raport cu noul sistem de coordonate.

Acest progres în interpretarea fundamentelor mecanicii va trebui să fie plătit însă prin aceea că după cum va deveni evident la o analiză mai atentă noile coordonate nu mai pot

fi interpretate nemijlocit ca rezultate ale unor măsurători cu corpuri rigide şi ceasornice, cum se putea face în sistemul original (un sistem inerţial cu câmp gravitaţional care se anulează).

Trecerea la teoria generală a relativităţii se înfăptuieşte prin supoziţia că o asemenea reprezentare a proprietăţilor (adică printr-o metrică riemannianã) se justifică de asemenea şi în cazul general în care nu există un sistem de coordonate în raport cu care metrica să ia forma cvasieuclidianã simplă a teoriei speciale a relativităţii.

Acum coordonatele, în sine, nu mai exprimă relaţii metrice, ci doar „vecinătăţi „ale lucrurilor descrise, ale căror coordonate diferă puţin una de alta. Toate transformările de coordonate trebuie admise atâta timp cât aceste transformări nu au singularităţi. Numai acele ecuaţii pot să fie admise că expresii ale legilor generale ale naturii care sunt covariante în raport cu transformări arbitrare în acest sens (postulatul covarianţei generale).

Primul obiectiv al teoriei generale a relativităţii a fost stabilirea unei formulări preliminare care, în condiţiile renunţării la anumite exigenţe ale închiderii interne, poate fi corelată în cea mai simplă manieră posibilă cu „faptele percepute direct „. Teoria newtoniană a gravitaţiei oferea un exemplu prin restrângerea sa la mecanică pură a gravitaţiei. Această formulare preliminară poate fi caracterizată prin următoarele: (1) Conceptul de punct material şi al masei lui sunt menţinute. Legea de mişcare pentru el reprezintă traducerea legii inerţiei în limbajul teoriei generale a relativităţii. Această lege este un sistem de ecuaţii diferenţiale totale ce caracterizează o linie geodezică.

(2) În locul legii newtoniene a interacţiunii gravitaţionale se găseşte sistemul celor mai simple ecuaţii diferenţiale general covariante pe care le putem stabili pentru tensorul gmn. El ia naştere făcând egal cu zero tensorul de curbură riemannian contractat (Rgmn= 0).

Această formulare ne permite să tratăm problema planetelor. Mai exact spus, ea permite examinarea problemei mişcării punctelor materiale de masă practic neglijabilă într-un câmp gravitaţional (central simetric) produs de un punct material presupus „în repaus „. Ea nu ia în considerare reacţia punctelor materiale „în mişcare „asupra câmpului gravitaţional, nici nu consideră modul în care masa centrală produce acest câmp gravitaţional.

Analogia cu mecanica clasică ne arată că teoria poate fi completată pe calea următoare. Se ia ca ecuaţie de câmp:

Rik – -l 2 gikR = –Tik 131

Unde R reprezintă scalarul curburii riemanniene, Tik tensorul energie al materiei într-o reprezentare fenomenologică. Partea stângă a ecuaţiei este aleasă astfel încât divergenţa ei este simultan egală cu zero. Rezultatul obţinut prin această anulare a divergenţei membrului drept ne dă „ecuaţiile de mişcare „ale materiei sub forma ecuaţiilor diferenţiale cu derivate parţiale pentru cazul în care Tik introduce, pentru descrierea materiei, numai patru alte funcţii reciproc independente (de exemplu, densitatea, presiunea şi componentele vitezei, unde între ultimele are loc o identitate, iar între presiune şi densitate o ecuaţie de condiţie).

Prin această formulare se reduce întreaga mecanică a gravitaţiei la soluţionarea unui singur sistem de ecuaţii diferenţiale parţiale covariante. Teoria înlătură toate dificultăţile interne de care era afectată baza mecanicii clasice. Ea este suficientă după câte ştim pentru reprezentarea faptelor observate ale mecanicii cereşti. Dar ea se aseamănă unei clădiri care are o aripă din marmură fină (partea stângă a ecuaţiei), pe când o altă aripă este făcută din lemn lipsit de valoare (partea dreaptă a ecuaţiei). Reprezentarea fenomenologică a materiei nu este decât un substitut imperfect pentru o reprezentare care ar corespunde tuturor proprietăţilor cunoscute ale materiei.

Nu este greu să se unifice teoria câmpului electromagnetic a lui Maxwell cu teoria câmpului gravitaţional, atâta vreme cât ne restrângem la spaţiul fără materie ponderabilă şi fără densitate electrică. Tot ceea ce este necesar să se facă este să se ia în al doilea membru al ecuaţiei de mai sus pentru Tik, tensorul energiei pentru câmpul electromagnetic în spaţiul vid şi să se asocieze cu sistemul ecuaţiilor astfel modificate ecuaţia de câmp a lui Maxwell pentru spaţiul vid, scrisă în forma generală covarianţa. În aceste condiţii va exista între toate aceste ecuaţii un număr suficient de identităţi diferenţiale pentru a garanta compatibilitatea sistemului. Putem adăuga că această proprietate formală necesară a sistemului total de ecuaţii lasă deschisă alegerea semnului membrului Tik, fapt ce s-a dovedit ulterior a fi important.

Năzuinţa spre cea mai înaltă unitate posibilă a fundamentelor unei teorii a determinat câteva încercări de a include câmpul gravitaţional şi câmpul electromagnetic într-o singură imagine formală omogenă. În acest sens trebuie să menţionăm în special teoria cu [62] dimensiuni a lui Kaluza şi Klein. După ce am examinat cu mare atenţie această posibilitate, cred că este mai potrivit să se accepte lipsa de uniformitate internă a teoriei originale, deoarece nu consider că totalitatea ipotezelor de bază ale teoriei cu 5 dimensiuni conţine mai puţine elemente arbitrare decât conţine teoria originală. Aceeaşi afirmaţie se poate face şi despre varianta degenerată proiectivă a teoriei, care a fost elaborată atent în special de van Dantzig şi Pauli.

Consideraţiile de mai sus se referă exclusiv la teoria câmpului fără materie. Cum trebuie să procedăm mai departe pentru a obţine o teorie completă a materiei constituite din atomi? Într-o asemenea teorie trebuie, în orice caz, să fie excluse singularităţile, deoarece altminteri ecuaţiile diferenţiale n-ar determina complet câmpul total. Aici, în teoria de câmp a relativităţii generale, întâlnim aceeaşi problemă a reprezentării teoretice de câmp a

materiei, aşa cum au apărut originar numai pentru teoria lui Maxwell.

Şi aici încercarea de a construi particulele pornind de la teoria câmpului conduce, evident, la singularităţi. Şi aici a fost făcută încercarea de a se depăşi acest inconvenient prin introducerea unor noi variabile de câmp şi prin complicarea şi extinderea sistemului ecuaţiilor câmpului. Recent, am descoperit totuşi, în colaborare cu dr. Nathan Rosen, că cea mai simplă combinaţie între ecuaţiile de câmp ale gravitaţiei şi electricităţii menţionată mai sus produce soluţii central-simetrice pe care le putem considera fără singularităţi (bine cunoscutele soluţii central-simetrice ale lui Schwartzschild pentru câmpul gravitaţional pur şi cele ale lui Reissner pentru câmpul electric luând în considerare acţiunea sa gravitaţională). Mă voi referi pe scurt la acestea în paragraful [63]. În felul acesta pare posibil să se obţină pentru materie şi interacţiunile ei o teorie pură a câmpului fără ipoteze adiţionale, teorie ce poate fi supusă controlului experimental fără să producă alte dificultăţi decât cele de ordin pur matematic, e adevărat, foarte serioase.

Fizicienii teoreticieni ai generaţiei noastre speră în edificarea unei noi baze teoretice pentru fizică în care se vor utiliza concepte fundamentale, mult diferite de cele ale teoriei câmpului la care ne-am referit până acum. Aceasta datorită faptului că s-a dovedit necesar pentru reprezentarea matematică a aşa-ziselor fenomene cuantice să se folosească abordări de un tip nou.

În timp ce eşecul mecanicii clasice, aşa cum a fost acesta relevat de teoria relativităţii, este legat de viteza finită a luminii (excluderea vitezei infinite), la începutul secolului nostru s-a descoperit existenţa unui alt gen de dezacord între consecinţele deductive ale mecanicii şi faptele experimentale, corelat cu mărimea finită (excluderea valorii zero) a constantei h a lui Planck şi anume că, în timp ce mecanica moleculară cere ca atât căldura cât şi densitatea radiaţiei (monocromatice) ale corpurilor solide să

descrească proporţional cu descreşterea temperaturii absolute, experienţa a arătat că ele descresc mult mai rapid o dată cu descreşterea temperaturii. Pentru a explica teoretic acest comportament a fost necesar să se admită că energia unui sistem mecanic nu poate lua orice valoare, ci anumite valori discrete ale căror expresii matematice depindeau mereu de constanta h a lui Planck. Această concepţie s-a dovedit esenţială şi pentru teoria atomului (teoria lui Bohr). Pentru tranziţia atomilor dintr-o stare în alta cu sau fără emisie sau absorbţie de radiaţie nu se pot da legi cauzale, ci numai unele statistice; o concluzie similară e validă pentru dezintegrarea radioactivă a atomilor, care fusese atent studiată în aceeaşi perioadă. Mai mult de două decenii fizicienii au încercat fără succes să găsească o interpretare unitară acestei „mecanici cuantice „a sistemelor şi fenomenelor. O asemenea încercare a reuşit însă cu vreo zece ani în urmă, prin două metode teoretice aparent complet diferite. Una dintre acestea o datorăm lui Heisenberg şi Dirac, iar pe cealaltă lui de Broglie şi Schrödinger. Echivalenţa matematică a acestor două metode a fost repede recunoscută de către Schrödinger. Voi încerca să schiţez linia de gândire a lui de Broglie şi Schrödinger, care e mai apropiată de modul de gândire al fizicianului şi voi însoţi această descriere de anumite consideraţii mai generale.

Mai întâi problema se pune astfel: cum se poate atribui o succesiune directă de valori ale energiei H0 unui sistem determinat în sensul mecanicii clasice (energia este o funcţie dată de coordonatele qr şi impulsurile corespunzătoare pr)? Constanta h a lui Planck corelează valorile frecvenţei -l H0 cu valorile energiei H0 Este că h urmare suficient să se dea unui sistem o serie discretă de valori ale frecvenţei. Aceasta ne aminteşte de faptul că în acustică o serie de valori discrete de frecvenţă corespund unei ecuaţii diferenţiale parţiale liniare (dacă se cunosc condiţiile la limită) şi anume soluţii sinusoidale periodice.

Schrödinger şi-a pus problema de a pune în corespondenţă cu funcţia de energie dată e (qr, pr), o ecuaţie diferenţială parţială pentru o funcţie scalară y unde qr şi timpul t sunt variabile independente. El a reuşit să facă aceasta (pentru o funcţie complexă) y astfel încât valorile teoretice ale energiei H0 aşa cum erau cerute de teoria statistică, să reprezinte efectiv într-o manieră satisfăcătoare soluţiile periodice ale ecuaţiei.

Se înţelege, n-a fost posibil să se asocieze unei soluţii determinate y (qr, t) a ecuaţiei lui Schrödinger o mişcare determinată în sensul mecanicii punctelor materiale.

Aceasta înseamnă că funcţiei y nu-l corespunde, în orice caz ei nu-l corespunde exact, o reprezentare a lui qr ca funcţie de timpul t. Totuşi, urmându-l pe Born, semnificaţia fizică a funcţiei y poate fi interpretată astfel: |y|2 (pătratul valorii absolute a unei funcţii complexe y) reprezintă densitatea de probabilităţi în punctul considerat în spaţiul configuraţiilor al lui qr la timpul t. Inductiv, dar oarecum imprecis, se poate caracteriza conţinutul ecuaţiei lui Schrödinger în modul următor: ea determină felul în care se modifică în timp densitatea de probabilităţi a unui ansamblu statistic de sisteme în spaţiul configuraţiilor. Pe scurt: ecuaţia lui Schrödinger determină modificarea funcţiei qr în timp.

Trebuie să amintim că rezultatele acestei teorii conţin drept cazuri limită rezultatele mecanicii particulelor dacă lungimea de undă cu care ne întâlnim în rezolvarea problemei lui Schrödinger este peste tot suficient de mică, aşa încât energia potenţială variază cu o mărime practic infinit mică pentru o schimbare a unei lungimi de undă în spaţiul configuraţiilor. În aceste condiţii se pot demonstra următoarele. Alegem o regiune G0 în spaţiul configuraţiilor care, deşi este mare (în orice direcţie) în raport cu lungimea de undă, este mică în raport cu dimensiunile practice ale spaţiului configuraţiilor. În aceste condiţii este posibil să se aleagă o funcţie y pentru momentul iniţial t0

astfel încât ea se anulează în afara regiunii G0 şi se comportă, conform ecuaţiei lui Schrödinger, de aşa manieră încât ea îşi menţine această proprietate cel puţin aproximativ de asemenea şi pentru un moment ulterior al timpului, dar pentru o regiune G0 care a trecut la timpul t într-o altă regiune G. În acest fel se poate vorbi, cu un anumit grad de aproximaţie, de „mişcarea „regiunii G ca întreg şi se poate aproxima această mişcare prin mişcarea unui punct în spaţiul configuraţiilor. Această mişcare va coincide atunci cu mişcarea cerută de ecuaţiile mecanicii clasice.

Experimentele de interferenţă cu raze corpusculare au adus o confirmare strălucită a faptului că natura ondulatorie a fenomenelor de mişcare, aşa cum apare ea în teorie, corespunde realmente cu faptele. În plus, teoria a reuşit să reprezinte cu uşurinţă legile statistice ale tranziţiei unui sistem de la o condiţie cuantică la alta sub acţiunea forţelor externe, ceea ce, din punctul de vedere al mecanicii clasice, apărea ca un miracol. Forţele exterioare erau reprezentate aici prin mici adaosuri, dependente de timp, la energia potenţială. În timp ce în mecanica clasică asemenea adaosuri pot produce doar schimbări corespunzător de mici ale stării sistemului, în mecanica cuantică ele produc schimbări oricât de mari, dar cu probabilitatea corespunzător de mică, o consecinţă în perfectă armonie cu experienţa.

Teoria a oferit chiar şi o înţelegere a legilor dezintegrării radioactive, cel puţin în linii esenţiale.

Niciodată până acum nu a fost elaborată o teorie care să ofere cheia interpretării şi calculării unui grup atât de eterogen de fenomene de experienţă cum a făcut mecanica cuantică. Totuşi, în ciuda acestui fapt, cred că teoria poate să ne poarte pe căi eronate, în căutarea unor fundamente unitare, pentru fizică, deoarece, în opinia mea, ea este o reprezentare incompletă a lucrurilor reale [74], deşi este singură ce poate fi construită pe baza conceptelor

fundamentale de forţă şi punct material (corectarea cuantică a mecanicii clasice). Incompletitudinea reprezentării este un rezultat al naturii statistice (incompletitudinea) a legilor. Voi încerca să justific această opinie.

La început, vom întreba: în ce măsură funcţia y descrie starea reală a unui sistem mecanic? Să admitem că yr reprezintă soluţii periodice (luate în ordinea creşterii valorilor energiei) ale ecuaţiei lui Schrödinger. Vom lăsa deschisă, pentru moment, problema în ce măsură yr luate individual sunt descrieri complete ale stărilor fizice. La început sistemul se află în starea y1 cu cea mai mică energie el Apoi, după un interval finit de timp, o forţă perturbatoare mică acţionează asupra sistemului. La un moment ulterior se obţine deci din ecuaţia lui Schrödinger o funcţie de forma y =SCryr unde Cr sunt constante (complexe). Dacă sunt „normale „, atunci |C [58] | este aproape egal cu 1 |C2| etc. Sunt mici în comparaţie cu 1; acum ne putem întreba: descrie y o stare reală a sistemului? Dacă răspunsul este da, atunci singurul lucru care ne mai rămâne este să-l atribuim* o asemenea energie determinată de e şi, în particular, o asemenea energie ce depăşeşte el cu puţin (în orice caz el<e<e2). O asemenea supoziţie este însa în contradicţie cu experienţele realizate mai întâi de J. Franck şi G. Hertz asupra ciocnirii electronilor, dacă vom accepta în plus demonstraţia lui Millikan asupra naturii discrete a electricităţii. De fapt, aceste experimente duc la concluzia că nu există stări ale energiei unui sistem care să se afle între valorile cuantice. Din aceasta decurge faptul că funcţia noastră y nu descrie în nici un caz o stare unitară a corpului, ci constituie mai degrabă o descriere statistică în care Cr reprezintă probabilităţi ale valorilor individuale ale energiei. Pare clar deci că interpretarea statistică a teoriei cuantice a lui Born este singura posibilă. Funcţia y nu descrie o stare care ar putea fi aceea a unui singur sistem; ea se raportează mai

degrabă la mai multe sisteme, la un „ansamblu de sisteme „, în sensul mecanicii statistice. Dacă, exceptând anumite cazuri speciale, funcţia furnizează doar date statistice privind mărimi observabile, cauza se află nu doar în aceea că operaţia de măsurare introduce elemente necunoscute, care pot fi înţelese doar statistic, ci şi în însuşi faptul că funcţia y nu descrie, în nici un sens, starea unui singur Sistem. Ecuaţia lui Schrödinger determină modificările în timp pe care le suferă ansambluri de sisteme, variaţii ce pot exista indiferent de acţiunea exterioară asupra unui sistem singular. [75]

O asemenea interpretare elimină de asemenea paradoxul formulat recent de mine împreună cu doi colaboratori, care se referă la următorul caz:

Să considerăm un sistem mecanic alcătuit de două sisteme parţiale A şi B care au interacţionat reciproc numai într-un interval de timp limitat. Fie dată funcţia y înainte de interacţiunea lor. Atunci ecuaţia lui Schrödinger va furniza funcţia y după ce interacţiunea a avut loc. Să determinăm acum prin măsurători complete starea fizică a sistemului parţial A. Atunci mecanica cuantică ne permite să determinăm funcţia y a sistemului parţial B din aceste măsurători şi din funcţia y a sistemului total. Această determinare va oferi însă un rezultat ce va depinde de care anume dintre mărimile determinate ce specifică starea sistemului A a fost măsurată (de exemplu, coordonatele sau impulsul). Dar, întrucât nu poate exista decât o singură stare fizică a lui B după interacţiunea cu A, stare care în mod raţional nu poate fi considerată dependentă de măsurătorile speciale pe care le efectuăm asupra sistemului A, separat de B, vom putea trage concluzia că funcţia y nu corespunde fără echivoc stării fizice. Corespondenţa unui număr mai mare de funcţii y cu aceeaşi stare fizică a sistemului B ne arată din nou că funcţia y nu poate fi interpretată ca o descriere (completă) a unei stări fizice a

unui sistem. Şi aici, punerea în corespondenţă a funcţiei y cu un ansamblu de sisteme elimină orice dificultate*.

Faptul că mecanica cuantică permite, într-o manieră atât de simplă, concluzii referitoare la tranziţii (aparent)

Operaţia de măsurare a lui A, de exemplu, conţine în sine deja o tranziţie la un ansamblu mai limitat de sisteme. Ultimul (şi deci şi funcţia sa y) depinde de punctul de vedere conform căruia se discontinue de la o stare fizică la alta fără a ne oferi realmente o reprezentare a proceselor specifice, este corelat cu un altul şi anume cu faptul că teoria nu operează în realitate cu sisteme singulare, ci cu ansambluri de sisteme. Coeficienţii Cr din primul nostru exemplu sunt efectiv modificaţi foarte puţin prin acţiunea unei forţe exterioare. O asemenea interpretare a mecanicii cuantice ne permite să înţelegem de ce această teorie explică uşor capacitatea unor forţe perturbatoare mici de a provoca modificări oricât de mari ale stării fizice a sistemului. Asemenea forţe perturbatoare produc, într-adevăr, doar alterări corespunzătoare mici ale densităţii statistice în ansambluri de sisteme; şi deci numai modificări infinit mici ale funcţiilor y, ale căror descrieri matematice prezintă dificultăţi mult mai mici decât cele pe care le-ar implica reprezentarea matematică a modificărilor finite produse asupra unor părţi ale sistemelor singulare. Fenomenul ce se întâmpla în sistemul singular rămâne, e drept, complet neclarificat prin acest mod de a considera lucrurile; el este eliminat complet din reprezentare de modalitatea statistică de abordare.

Dar acum vom întreba: Există realmente vreun fizician care să creadă că noi nu vom obţine niciodată o cunoaştere asupra acestor modificări importante ale sistemelor singulare, asupra structurii lor şi a conexiunilor lor cauzale şi aceasta independent de faptul că aceste procese individuale ne-au fost aduse atât de aproape graţie minunatelor invenţii ale camerei cu bule Wilson şi contorului Geiger? A crede aceasta este o posibilitate logic

necontradictorie; dar ea se opune cu atâta putere instinctului meu ştiinţific, încât nu pot să renunţ la căutarea unei concepţii mai cuprinzătoare. [76]

Acestor consideraţii am dori să le adăugăm unele de alt gen care se ridică de asemenea împotriva ideii că metodele introduse de mecanică cuantică ar fi apte de a oferi o bază utilă pentru întreaga fizică. În ecuaţia lui Schrödinger, timpul absolut, respectiv energia potenţială, joacă un rol decisiv, deşi aceste două concepte au fost recunoscute de teoria relativităţii ca inadmisibile în principiu. Dacă dorim să scăpăm de această dificultate ar trebui să întemeiem teoria pe noţiunea de câmp şi pe legi ale câmpului, în locul forţelor de interacţiune. Aceasta ne conduce la transpunerea metodelor statistice ale mecanicii cuantice la câmpuri, cu alte cuvinte la sisteme cu un număr infinit de grade de libertate. Deşi încercările făcute până acum se limitează la ecuaţii liniare, care, aşa cum ştim din teoria generală a relativităţii, sunt insuficiente, complicaţiile apărute până acum în cadrul celor mai ingenioase încercări sunt de-a dreptul îngrozitoare. Ele ar deveni uriaşe în cazul în care s-ar dori să se satisfacă exigenţele teoriei generale a relativităţii, asupra justeţei principiale a acestora neîndoindu-se nimeni.

Trebuie să observăm, în fine, că introducerea continuului spaţiu-timp poate fi considerată nefirească, dată fiind structura moleculară a oricărui proces ce se desfăşoară la scară mică. Se susţine că succesul metodei lui Heisenberg justifică poate o metodă algebrică pură de descriere a naturii, cu alte cuvinte eliminarea funcţiilor continue din fizică. Dar atunci va trebui să renunţăm, în principiu, la folosirea continuului spaţiu-timp. Nu este de neimaginat că ingeniozitatea umană va găsi cândva metode ce ne vor da posibilitatea să mergem pe această cale. În momentul actual un asemenea program ne pare totuşi asemănător cu o încercare de a respira într-un spaţiu vid.

Nu este nici o îndoială că în mecanica cuantică se găseşte un important element de adevăr şi că ea va reprezenta o piatră de încercare pentru orice fundament teoretic viitor, deoarece ea va trebui dedusă ca un caz particular din acest fundament, la fel cum se deduce electrostatica din ecuaţiile lui Maxwell pentru câmpul electromagnetic sau termodinamica din mecanica clasică. Cu toate acestea nu cred că mecanica cuantică va reprezenta punctul de plecare în căutarea acestui fundament, la fel cum, viceversa, nu se poate merge de la termodinamică (respectiv, mecanica statistică) la fundamentele mecanicii. [77]

Dată fiind această situaţie, pare a fi complet îndreptăţită considerarea serioasă a problemei în ce măsură fundamentele fizicii câmpului ar putea fi puse de acord cu faptele teoriei cuantice. Aceasta reprezintă singura bază care, în stadiul actual al mijloacelor noastre de expresie matematică, poate fi adaptată la postulatul teoriei generale a relativităţii; convingerea, dominantă printre fizicienii actuali, că o asemenea încercare este sortită eşecului şi-ar putea avea rădăcinile în ideea nejustificată că o asemenea teorie va duce, într-o primă aproximaţie, la ecuaţiile mecanicii clasice pentru mişcarea particulelor sau cel puţin la ecuaţiile diferenţiale totale. De fapt, până acum n-am reuşit niciodată să reprezentăm teoretic particule prin câmpuri fără singularităţi şi nu putem să spunem nimic a priori cu privire la comportarea unor asemenea entităţi. Un lucru este totuşi cert: dacă o teorie a câmpului va duce la reprezentarea particulelor fără singularităţi, atunci comportarea acestor particule în timp este determinată exclusiv de ecuaţiile diferenţiale ale câmpului.

Aş dori acum să demonstrez că, în conformitate cu teoria generală a relativităţii, există soluţii fără singularităţi ale ecuaţiilor de câmp ce pot fi interpretate ca reprezentări ale particulelor. [78] Mă voi limita aici la particulele neutre deoarece într-o altă lucrare recent publicată împreună cu

dr. Nathan Rosen am analizat această problemă într-o manieră mai detaliată şi deoarece în acest caz special putem evidenţia în mod complet ceea ce este esenţial în problemă.

Câmpul gravitaţional este în întregime descris de tensorul gmn. În simbolul triplu indexat Gs mn apar de asemenea şi contravariante gmn care sunt definte ca minorii lui gmn divizaţi prin determinantul g (= |gab|). Pentru ca elementele lui Rik să fie definite şi finite nu este suficient numai să existe, pentru vecinătatea oricărui punct al continuului, un sistem de coordonate în care gmn şi derivatele lor de ordinul întâi să fie continue şi diferenţiabile, dar este de asemenea necesar ca determinantul g să nu se anuleze nicăieri. Această ultimă restricţie poate fi eliminată dacă se înlocuiesc ecuaţiile diferenţiale Rik = 0 prin g2Rik = 0 partea din stânga fiind alcătuită din funcţii raţionale întregi ale lui gik şi ale derivatelor lor.

Aceste ecuaţii au soluţiile central simetrice indicate de Schwartzschild.

Această soluţie are o singularitate pentru r = 2m, deoarece coeficienţii lui dr2 (adică g [68]) devin infiniţi pe această hipersuprafaţă. Dacă, totuşi, vom înlocui variabila r prin r, definită prin ecuaţia obţinem

Această soluţie se comportă regulat pentru toate valorile lui r. Anularea coeficienţilor lui dt2 adică g44 pentru r = 0 rezultă, e adevărat, datorită faptului că determinantul g se anulează pentru această valoare; ceea ce însă pentru metodele de scriere a ecuaţiilor de câmp actualmente adoptate nu constituie o singularitate.

Dacă r se extinde de la –¥ la +¥, atunci r se extinde de la + ¥ la r = 2m şi după aceea înapoi la +¥, pe când pentru asemenea valori ale lui r corespunzând lui r < 2m nu există valori reale corespuzătoare pentru r. De aici decurge că soluţia Schwartzschild devine o soluţie regulată dacă ne reprezentăm spaţiul fizic constând din două „pături

„identice care se învecinează pe hipersuprafaţa r= 0 adică r = [59] m, în timp ce determinantul g pentru această hipersuprafaţă devine nul. Vom numi o asemenea conexiune între două pături (identice) un „pod „. Ca urmare, existenţa unui asemenea „pod „între cele două pături în domeniul finit corespunde existenţei unei particule materiale neutre care e descrisă fără singularităţi.

Rezolvarea problemei mişcării particulelor neutre conduce în mod evident la descoperirea unor asemenea soluţii ale ecuaţiilor gravitaţionale (scrise fără numitori), care conţin câteva poduri.

Concepţia schiţată mai sus corespunde a priori structurii atomice a materiei în măsura în care „podul „este prin natură sau un element discret. Mai mult, constantă de masă m a particulelor neutre trebuie să fie în mod necesar pozitivă, deoarece nici o soluţie fără singularităţi nu poate să corespundă soluţiei Schwartzschild pentru o valoare negativă a lui m. Numai cercetarea problemei mai multor poduri ne poate arăta dacă această metodă teoretică oferă o explicaţie a egalităţii probate empiric a maselor particulelor găsite în natură şi dacă ea poate explica faptele pe care mecanica cuantică le-a interpretat minunat.

Într-o manieră analogă este posibil să se demonstreze că ecuaţiile combinate ale gravitaţiei şi electricităţii (cu alegerea corespunzătoare a semnului membrului electric în ecuaţiile gravitaţiei) produc o reprezentare pod fără singularităţi a unei particule electrice. Cea mai simplă soluţie de acest gen este aceea pentru o particulă electrică fără masă gravitaţională.

Atâta vreme cât dificultăţile matematice importante legate de rezolvarea problemei „mai multor poduri „nu sunt depăşite, nu putem spune nimic cu privire la utilitatea teoriei din punct de vedere fizic. Cu toate acestea, ea reprezintă prima tentativă de elaborare consecventă a unei teorii de câmp care oferă posibilitatea explicării proprietăţilor materiei. În favoarea acestei încercări trebuie

să adăugăm, de asemenea, că ea se întemeiază pe cele mai simple ecuaţii relativiste de câmp cunoscute azi.

Fizică reprezintă un sistem logic de idei aflat în stare de evoluţie, a cărui bază nu se poate obţine distilând-o prin vreo metodă inductivă din datele experienţei, ci numai prin invenţie liberă. Justificarea (conţinutul de adevăr) sistemului se întemeiază pe confirmarea de către datele experienţei a utilităţii teoremelor deduse; relaţia dintre ultimele şi primele poate fi înţeleasă numai intuitiv. Evoluţia sistemului se desfăşoară în direcţia creşterii simplicităţii bazei logice. Pentru a ne apropia de acest ţel trebuie să ne împăcăm cu faptul că fundamentele logice se îndepărtează tot mai mult de faptele experienţei şi că drumul gândirii noastre de la fundamente la teoremele rezultate corelate cu experienţa devine tot mai lung şi greu. [79]

Scopul nostru a fost acela de a schiţa cât mai concis evoluţia conceptelor fundamentale, evoluţie dependentă de faptele experienţei şi de tendinţa spre atingerea perfecţiunii interne a sistemului. Mi se pare că starea actuală a lucrurilor va fi clarificată cu ajutorul acestor consideraţii. (În mod inevitabil această reprezentare istorică schematică a avut o anumită coloratură personală.) [80]

M-am străduit să arăt cum sunt corelate reciproc şi cu natura experienţei conceptele de obiect corporal, spaţiu, timpul subiectiv şi obiectiv. În mecanica clasică, conceptele de spaţiu şi timp sunt independente unul de altul. Conceptul de obiect corporal este înlocuit în fundamente de conceptul de punct material, prin care mecanică a devenit esenţial atomistă. Lumina şi electricitatea au produs dificultăţi insurmontabile atunci când s-a încercat să se facă din mecanică fundamentul întregii fizici. Aceasta a condus la teoria de câmp a electricităţii şi, ulterior, la încercarea de a întemeia fizică în întregime pe conceptul de câmp (după o încercare de compromis cu mecanica clasică). Această încercare a dus la teoria relativităţii (transformarea

noţiunilor de spaţiu şi timp în noţiunea unui continuu cu o structură metrică).

Am încercat mai departe să arăt de ce, în opinia mea, teoria cuantică nu pare a fi capabilă să ofere un fundament util pentru fizică: încercarea de a considera teoria cuantică drept o descriere completă a sistemelor sau proceselor fizice individuale conduce în mod inevitabil la contradicţii.

Pe de altă parte, în momentul de faţă teoria câmpului nu este în stare să ofere o explicaţie a structurii moleculare a materiei şi a fenomenelor cuantice. Convingerea că teoria câmpului n-ar fi capabilă să ofere, cu metodele ei, o soluţie acestor probleme se dovedeşte a fi bazată pe o prejudecată.

NOTE.

Le. Vezi în această privinţă şi Fundamentele fizicii teoretice, Observaţii asupra teoriei cunoaşterii a lui Bertrand Russell şi Note autobiografice.

Punct de vedere discută el şi ceea ce califică drept „eroarea inductivistă „. Constituirea unor teorii „speculative „, cum sunt teoria moleculară sau teoria câmpului a lui Maxwell, nu a fost favorizată de prejudecăţile inductiviste dominante în rândul cercetătorilor naturii. Pentru alte consideraţii asupra acestui subiect, vezi îndeosebi Despre metoda fizicii teoretice.

FUNDAMENTELE FIZICII TEORETICE.

Ştiinţa este încercarea de a face ca diversitatea haotică a experienţei noastre senzoriale să corespundă unui sistem de gândire uniform din punct de vedere logic. În cadrul acestui sistem experienţele singulare trebuie corelate cu structură teoretică în aşa fel încât coordonarea realizată să fie unică şi convingătoare.

Trăirile senzoriale constituie ceea ce ne este dat. În schimb, teoria menită să le interpreteze este făcută de om.1 Ea este rezultatul unui proces de adaptare extrem de laborios, ipotetic, niciodată deplin încheiat, totdeauna supus întrebărilor şi îndoielii.

Modul ştiinţific de formare a conceptelor diferă de cel folosit în viaţa noastră de toate zilele, dar nu în mod fundamental, ci doar prin definirea mai precisă a conceptelor şi prin determinarea mai precisă a consecinţelor, prin alegerea mai meticuloasă şi mai sistematică a materialului experimental şi printr-o mai mare economie logică.2 Prin aceasta din urmă înţelegem efortul de reducere a tuturor conceptelor şi corelaţiilor la un număr cât mai mic cu putinţă de concepte de bază şi axiome independente din punct de vedere logic.

Ceea ce numim fizică cuprinde acel grup de ştiinţe ale naturii care îşi întemeiază conceptele pe măsurători şi ale căror concepte şi propoziţii se pretează la formulare matematică. Domeniul ei se defineşte deci ca fiind acea parte din totalul cunoştinţelor noastre care poate fi exprimată în termeni matematici. O dată cu progresul ştiinţei, domeniul fizicii s-a lărgit într-atât încât pare a fi limitat doar de limitările metodei înseşi.3

Cea mai mare parte a cercetării fizice este consacrată dezvoltării diferitelor ramuri ale fizicii, având fiecare ca obiect înţelegerea teoretică a unor câmpuri mai mult sau mai puţin restrânse ale experienţei, legile şi conceptele fiecăreia rămânând cât mai strâns posibil legate de experienţă. Acest sector al ştiinţei, cu specializarea lui crescândă, este cel ce a revoluţionat viaţa practică în secolele din urmă şi a generat posibilitatea ca omul să se elibereze în cele din urmă de povara trudei fizice.

Pe de altă parte, încă de la bun început s-a încercat tot timpul să se găsească pentru toate aceste ştiinţe particulare o bază teoretică unificatoare, constând dintr-un minim de concepte şi relaţii fundamentale, din care să poată fi derivate logic toate conceptele şi relaţiile disciplinelor particulare. Iată ce înţelegem prin căutarea unui fundament pentru întreaga fizică. Credinţa profundă că acest scop ultim poate fi atins constituie principala sursă a devotamentului pasionat ce l-a însufleţit dintotdeauna pe

cercetător. [84] Observaţiile care urmează sunt consacrate, în acest sens, fundamentelor fizicii.

Din cele spuse reiese clar că termenul fundamente, folosit în acest context, nu înseamnă ceva analog în toate privinţele cu fundamentul unei clădiri. Desigur că, din punct de vedere logic, diferitele legi ale fizicii se sprijină pe acest fundament. Dar, în timp ce o clădire poate fi grav avariată de o furtună puternică sau de o viitură, fundamentul ei rămânând totuşi intact, în ştiinţă totdeauna noile experienţe sau noile cunoştinţe primejduiesc fundamentul logic în mai mare măsură decât în disciplinele particulare, care sunt în contact mai strâns cu datele experimentale. În legătura pe care fundamentul o are cu toate părţile individuale rezidă marea lui însemnătate, dar şi pericolul mai mare la care este expus în faţa oricărui nou fapt. O dată ce am înţeles acest lucru, mi se pare de mirare că aşa-numitele epoci revoluţionare ale ştiinţei fizicii n-au dus la schimbări mai frecvente şi mai substanţiale în fundamentul ei decât s-a întâmplat în realitate.

Prima încercare de a dura un fundament teoretic uniform a constituit-o opera lui Newton. În sistemul său totul se reduce la următoarele concepte: (1) puncte materiale cu masă invariabilă; ([82]) acţiune la distanţă între orice pereche de puncte materiale; (3) lege de mişcare pentru punctele materiale. Strict vorbind, aici nu exista nici un fundament atotcuprinzător, fiindcă o lege explicită a fost formulată numai pentru acţiunile la distanţă ale gravitaţiei, în timp ce pentru alte acţiuni la distanţă nu era stabilit nimic a priori în afară de legea egalităţii dintre actio şi reacţio. În plus, Newton însuşi a înţeles cât se poate de bine că timpul şi spaţiul, ca factori efectivi din punct de vedere fizic, interveneau în mod esenţial în sistemul său, chiar dacă numai implicit.

Această bază newtoniană s-a dovedit deosebit de fecundă şi, până la finele secolului al nouăsprezecelea, a fost considerată definitivă. Ea nu numai că a dat rezultate legate de mişcările corpurilor cereşti până la cele mai mici detalii, dar a oferit şi o teorie a mecanicii maselor discrete

şi continue, o explicaţie simplă a principiului conservării energiei şi o teorie completă şi strălucită a căldurii. Explicarea fenomenelor electrodinamice în cadrul sistemului newtonian era mai forţată; iar cel mai puţin convingătoare din toate a fost din capul locului teoria luminii. [85]

Nimic surprinzător în faptul că Newton nici nu voia să audă de o teorie ondulatorie a luminii; fiindcă o asemenea teorie era în cea mai mare discordanţă cu fundamentul teoretic construit de el. Ipoteza că spaţiul este umplut cu un mediu constând din puncte materiale ce propagă unde luminoase fără a manifesta nici un fel de alte proprietăţi mecanice trebuie să i se fi părut absolut artificială. Cele mai puternice argumente empirice în sprijinul naturii ondulatorii a luminii vitezele determinate de propagare, interferenţa, difracţia, polarizarea nu erau cunoscute ori nu erau cunoscute în mod sistematic. Newton avea dreptate să rămână fidel teoriei sale corpusculare a luminii.

În secolul al XIX-lea disputa a fost decisă în favoarea teoriei ondulatorii. Cu toate acestea, în legătură cu fundamentul mecanic al fizicii n-au apărut îndoieli serioase, în primul rând pentru că nimeni nu ştia unde s-ar putea găsi un astfel de fundament. Doar încetul cu încetul, sub presiunea irezistibilă a faptelor, s-a dezvoltat un nou fundament al fizicii, fizica câmpului.

Începând încă din vremea lui Newton, teoria acţiuniila-distanţă a fost în mod constant considerată drept artificială. N-au lipsit eforturile de a explica gravitaţia printr-o teorie cinetică, adică pe baza forţelor de coliziune ale unor ipotetice particule materiale. Încercările au fost însă superficiale şi nu au dat roade. Rolul straniu jucat de spaţiu (respectiv sistemul inerţial) în fundamentele mecanicii a fost de asemenea recunoscut în mod evident şi criticat cu deosebită claritate de către Emst Mach.

Marea schimbare a fost determinată de Faraday, Maxwell şi Hertz într-un mod aproape inconştient şi fără voia lor.

Toţi trei s-au considerat, toată viaţa, adepţi ai teoriei mecanice. Hertz a găsit forma cea mai simplă a ecuaţiilor câmpului electromagnetic şi a declarat că orice teorie care duce la aceste ecuaţii este o teorie maxwelliană. Totuşi, spre sfârşitul scurtei sale vieţi, el a scris o lucrare în care a prezentat drept fundament al fizicii o teorie mecanică din care era eliminat conceptul de forţă.

Nouă, celor care am primit ideile lui Faraday, ca să spunem o dată cu laptele matern, ne este greu să ne dăm seama de importanţa şi cutezanţa lor. Faraday trebuie să fi sesizat cu un instinct infailibil caracterul artificial al tuturor încercărilor de a raporta fenomenele electromagnetice la acţiunile-la-distanţă dintre particule electrice ce acţionează unele asupra celorlalte. Cum se poate ca fiecare firicel de fier din pilitura presărată pe o bucată de hârtie să ştie despre particulele electrice individuale ce trec printr-un conductor din apropiere? Toate aceste particule electrice laolaltă păreau să creeze în spaţiul înconjurător o stare care la rândul ei producea o anumită ordine în pilitură. Faraday era convins că aceste stări spaţiale, numite astăzi câmpuri, o dată ce structura lor geometrică şi interacţiunea lor erau corect determinate, aveau să ofere cheia misterioaselor interacţiuni electromagnetice. El concepea aceste câmpuri ca pe nişte stări de tensiune mecanică într-un mediu ce umple spaţiul, asemeni stărilor de tensiune într-un corp întins elastic. Pe atunci acesta era singurul mod în care puteau fi concepute stări distribuite aparent continuu în spaţiu. Tipul particular de interpretare mecanică a acestor câmpuri rămânea, pentru a spune aşa, în fundal ca un fel de liniştire a conştiinţei ştiinţifice ţinând seamă de tradiţia mecanică din epoca lui Faraday.

Cu ajutorul acestui nou concept de câmp, Faraday a izbutit să formuleze un concept calitativ despre întregul complex de efecte electromagnetice descoperite de el şi de predecesorii săi. Formularea precisă a legilor spaţiotemporale ale acestor câmpuri a fost opera lui

Maxwell. Să ne închipuim ce a putut să simtă atunci când ecuaţiile sale diferenţiale i-au arătat că aceste câmpuri electromagnetice se propagau sub formă de unde polarizate şi cu viteza luminii! Nu mulţi sunt muritorii cărora le-a fost hărăzită o asemenea experienţă. În acel moment emoţionant, Maxwell n-ar fi putut în mod cert să-şi închipuie că lumina, a cărei natură părea lămurită complet, avea să preocupe în continuare generaţie după generaţie. În tot acest timp, fizicienii au avut nevoie de câteva decenii pentru a sesiza întreaga semnificaţie a descoperirii lui Maxwell, atât de îndrăzneţ a fost saltul impus de geniul său concepţiilor colegilor săi de breaslă. Abia după ce Hertz a demonstrat experimental existenţa undelor electromagnetice maxwelliene, a încetat orice rezistenţă faţă de noua teorie.

Dacă însă câmpul electromagnetic putea să existe că undă independent de sursa materială, interacţiunea electrostatică nu mai putea fi interpretată ca acţiune-ladistanţă. Iar ceea ce era valabil pentru acţiunea electrică nu putea fi negat în gravitaţie. Pretutindeni acţiunile-ladistanţă newtoniene făceau loc cimpurilor ce se propagă cu viteză finită.

Din fundamentul newtonian nu mai rămâneau acum decât punctele de masă materiale supuse legii de mişcare. J. J. Thompson a arătat însă că un corp încărcat electric aflat în mişcare trebuie, potrivit teoriei lui Maxwell, să posede un câmp magnetic a cărui energie se comportă întocmai ca un adaos la energia să cinetică. Iar dacă o parte a energiei cinetice constă din energia câmpului, n-ar putea fi valabil lucrul acesta pentru întreaga energie cinetică? Nu cumva inerţia substanţei materiale, proprietate de bază a acesteia, ar putea fi explicată în cadrul teoriei câmpului? Această întrebare a dus la problema interpretării substanţei materiale în termeni de teorie a câmpului, problemă a cărei rezolvare ar fi oferit şi o explicaţie a structurii atomice a materiei. Fizicienii şi-au dat curînd seama că teoria lui

Maxwell nu putea îndeplini un asemenea program. De atunci mulţi oameni de ştiinţă au depus mari strădanii pentru a completa teoria câmpului printr-o generalizare menită să cuprindă o teorie a substanţei materiale; deocamdată însă eforturile în acest sens nu au fost încununate de succes. Pentru a construi o teorie, nu e de-ajuns să ai o concepţie clară asupra scopului. Trebuie să mai ai şi un punct de vedere formal care să restrângă suficient demult varietatea nelimitată a posibilităţilor. Până în prezent acesta nu a fost găsit, astfel încât teoria câmpului nu a izbutit să ofere un fundament pentru întreaga fizică.

Timp de câteva decenii, majoritatea fizicienilor au fost convinşi că se va găsi o substructură mecanică pentru teoria lui Maxwell. Rezultatele nesatisfăcătoare ale eforturilor lor au dus însă la acceptarea treptată a noilor concepte de câmp ca fundamente ireductibile cu alte cuvinte, fizicienii s-au resemnat să abandoneze ideea unei fundamentări mecanice.

Astfel, fizicienii au aderat la programul teoriei câmpului. Acesta nu putea însă fi numit un fundament,

Fiindcă nimeni nu putea să spună dacă o teorie a câmpului consistentă va putea să explice vreodată pe de o parte gravitaţia, iar pe de altă parte componentele elementare ale materiei. În această situaţie era necesar ca particulele materiale să fie gândite ca puncte materiale supuse legilor de mişcare newtoniene. Acesta a fost procedeul prin care Lorentz a creat teoria despre electron şi teoria fenomenelor electromagnetice ale corpurilor în mişcare.

Iată punctul în care ajunseseră concepţiile fundamentale în pragul secolului nostru. Fusese înregistrat un progres imens în pătrunderea şi înţelegerea teoretică a unor grupuri întregi de fenomene noi; dar stabilirea unui fundament unificat pentru fizică părea un obiectiv îndepărtat. Evoluţia ulterioară a agravat şi mai mult această stare de lucruri. Dezvoltarea înregistrată în acest

secol se caracterizează prin elaborarea a două sisteme de gândire independente în esenţă unul de altul, teoria relativităţii şi mecanica cuantică. Cele două sisteme nu se contrazic în mod direct între ele; ele par însă puţin adaptate pentru a fuziona într-o teorie unificată. Acum va trebui să discutăm pe scurt ideea de bază a acestor două sisteme.

Teoria relativităţii a luat naştere din eforturile de a îmbunătăţi, sub aspectul economiei logice, fundamentele fizicii aşa cum se prezentau la începutul secolului. Aşa-numita teorie specială au restrânsa a relativităţii se bazează pe faptul că ecuaţiile lui Maxwell (şi deci legea de propagare a luminii în vid) se convertesc în ecuaţii de aceeaşi formă atunci când suferă transformări Lorentz. Acestei proprietăţi formale a ecuaţiilor lui Maxwell i se adaugă cunoaşterea noastră empirică destul de sigură, potrivit căreia legile fizicii sunt aceleaşi în raport cu toate sistemele inerţiale. Toate acestea au drept rezultat faptul că transformările Lorentz aplicate coordonatelor spaţiale şi temporale trebuie să guverneze tranziţia de la un sistem inerţial la oricare altul. Conţinutul teoriei restrânse a relativităţii poate fi rezumat deci printr-o propoziţie: toate legile naturii trebuie să fie astfel formulate încât să fie covariante în raport cu transformările Lorentz. De aici urmează că simultaneitatea a două evenimente distincte nu este un concept invariant şi că dimensiunile corpurilor rigide şi vitezele ceasornicelor depind de starea lor de mişcare. O altă consecinţă a fost modificarea legii de mişcare newtoniene în cazurile în care viteza corpului dat nu este mică în comparaţie cu viteza luminii. Decurgea de asemenea principiul echivalenţei masei şi energiei, legile de conservare a masei şi energiei devenind una şi aceeaşi lege. O dată ce s-a arătat că simultaneitatea este relativă şi depinde de sistemul de referinţă, a dispărut orice posibilitate de a menţine acţiunile la distanţă în fundamentul fizicii, dat fiind că acest concept presupunea

caracterul absolut al simultaneităţii (trebuie să fie posibil să se precizeze localizarea a două puncte materiale în interacţiune „în acelaşi moment „).

Teoria generală a relativităţii îşi are originea în încercarea de a explica un fapt ce era cunoscut de pe vremea lui Galilei şi Newton, dar care s-a sustras oricărei interpretări teoretice: inerţia şi greutatea unui corp, care sunt în ele însele două lucruri total distincte, se măsoară cu una şi aceeaşi constantă masa. Din această corespondenţă decurge că, pe cale experimentală, este imposibil să se descopere dacă un sistem de coordonate dat este accelerat sau dacă mişcarea sa este rectilinie şi uniformă, faptele observate datorându-se unui câmp gravitaţional (acesta este principiul echivalenţei din teoria generală a relativităţii). Prin acest fapt, conceptul de sistem inerţial este zdruncinat de îndată ce intervine gravitaţia. Aici putem face observaţia că sistemul inerţial constituie un punct slab al mecanicii galileo-newtoniene. Căci se presupune astfel o proprietate misterioasă a spaţiului fizic, ce condiţionează tipul de sisteme de coordonate pentru care rămân valabile legea inerţiei şi legea de mişcare newtoniană.

Aceste dificultăţi pot fi evitate prin următorul postulat: legile naturii trebuie formulate în aşa fel încât forma lor să fie identică pentru sisteme de coordonate în orice fel de stare de mişcare. Realizarea acestui obiectiv este sarcina teoriei generale a relativităţii. Pe de altă parte, din teoria restrânsă deducem existenţa unei metrici riemanniene în cadrul continuului spaţio-temporal, care, conform principiului echivalenţei, descrie atât câmpul gravitaţional, cât şi proprietăţile metrice ale spaţiului. Admiţând că ecuaţiile câmpului pentru gravitaţie sunt diferenţiale de ordinul al doilea, legea câmpului este clar determinată.

Dincolo de acest rezultat, teoria eliberează fizica câmpului de un neajuns de care suferea deopotrivă cu mecanica newtoniană neajunsul de atribui spaţiului acele proprietăţi fizice independente care fuseseră până atunci disimulate

prin folosirea unui sistem inerţial. Nu se poate pretinde însă că acele părţi ale teoriei generale a relativităţii care pot fi considerate astăzi ca definitive, au oferit fizicii un fundament complet şi satisfăcător. În primul rând, în ea câmpul total apare ca fiind compus din două părţi neconectate logic câmpul gravitaţional şi câmpul electromagnetic. Iar în al doilea rând, această teorie, la fel ca şi teoriile anterioare ale câmpului, n-a furnizat deocamdată o explicaţie a structurii atomice a materiei. Acest insucces are probabil o legătură cu faptul că până acum teoria nu a contribuit cu nimic la înţelegerea fenomenelor cuantice. Pentru a înţelege aceste fenomene, fizicienii au fost nevoiţi să adopte metode cu totul noi, ale căror caracteristici de bază le vom discuta acum.

În anul 1900 în cursul unei investigaţii pur teoretice, Max Planck a făcut o descoperire cu adevărat remarcabilă; legea radiaţiei corpurilor în funcţie de temperatură nu putea fi derivată exclusiv din legile electrodinamicii maxwelliene. Pentru a ajunge la rezultate consistente pe baza unor experimente relevante, radiaţia de o frecvenţă dată trebuia tratată ca şi cum ar consta din atomi de energie cu energia individuală hn, unde h este constantă universală a lui Planck. În anii care au urmat s-a arătat că pretutindeni lumina este produsă şi absorbită în astfel de cuante de energie. Mai cu seamă, Niels Bohr a putut să înţeleagă în linii mari structura atomului, pornind de la ipoteza că atomii pot avea numai valori energetice discrete şi că tranziţiile discontinue dintre ele sunt legate de emisia sau absorbţia unei asemenea cuante de energie. Aceasta aruncă o anumită lumină asupra faptului că în stările lor gazoase elementele şi compuşii lor radiază şi absorb numai lumină cu frecvenţe precis determinate. Toate acestea nu-şi găseau nici o explicaţie în cadrul teoriilor existente atunci. Era clar că, cel puţin în domeniul fenomenelor atomice, caracterul a tot ce se întâmplă este determinat de stări

discrete şi de tranziţiile aparent discontinue dintre ele, constanta lui Planck, h, jucând pretutindeni un rol decisiv.

Pasul următor l-a făcut de Broglie. El şi-a pus întrebarea cum ar putea fi înţelese stările discrete cu ajutorul conceptelor curente şi i-a venit ideea unei paralele cu undele staţionare, ca de exemplu în cazul frecvenţelor proprii ale tuburilor de orgă şi ale coardelor în acustică. Ce-l drept, acţiuni ondulatorii de felul celor cerute aici nu erau cunoscute; dar puteau fi construite şi legile lor matematice puteau fi formulate, folosind constanta lui Planck, h. De Broglie a conceput un electron ce se roteşte în jurul nucleului atomic ca fiind legat de un asemenea câmp de unde ipotetic şi a făcut inteligibil până la un punct caracterul discret al orbitelor „permise „ale lui Bohr prin caracterul staţionar al undelor corespunzătoare.

În mecanică, mişcarea punctelor materiale este determinată de forţe sau câmpuri de forţă ce acţionează asupra lor. Era deci de aşteptat ca aceste câmpuri de forţă să influenţeze într-un mod analog şi câmpurile de unde ale lui de Broglie. Erwin Schrödinger a arătat cum trebuia luată în considerare această influenţă, reinterpretând printr-o metodă ingenioasă anumite formulări ale mecanicii clasice. El a reuşit chiar să lărgească într-atât teoria mecanicii ondulatorii astfel încât, fără introducerea vreunei ipoteze adiţionale, ea a devenit aplicabilă oricărui sistem mecanic constând dintr-un număr arbitrar de puncte materiale, adică având un număr arbitrar de grade de libertate. Lucrul acesta a fost posibil, dat fiind că un sistem mecanic constând din n puncte materiale este într-o măsură considerabilă echivalent din punct de vedere matematic cu un singur punct material ce se mişcă într-un spaţiu cu [83] n dimensiuni.

Pe baza acestei teorii s-a obţinut o reprezentare surprinzător de bună a unei imense varietăţi de fapte care altminteri apăreau cu totul de neînţeles. În mod curios totuşi, într-un punct se înregistra un eşec: s-a dovedit

imposibil să se coreleze cu aceste unde Schrödinger mişcări definite ale punctelor materiale or, tocmai acesta fusese scopul iniţial al întregii construcţii.

Dificultatea părea insurmontabilă, până când a fost depăşită de Bohr într-un mod pe cât de simplu pe atât de neaşteptat. Câmpurile de unde de Broglie–Schrödinger urmau a fi interpretate nu ca o descriere matematică a felului în care un eveniment se produce efectiv în timp şi spaţiu cu toate că, fireşte, ele se referă la un asemenea eveniment - ci mai degrabă ca descriere matematică a ceea ce putem cunoaşte efectiv despre sistem. Ele servesc doar pentru formularea de enunţuri şi predicţii statistice ale rezultatelor tuturor măsurătorilor pe care le putem efectua asupra sistemului.

Aş vrea să ilustrez aceste trăsături generale ale mecanicii cuantice printr-un exemplu simplu: să considerăm un punct material ţinut înăuntrul unei regiuni restrânse G prin forţe de mărime finită. Dacă energia cinetică a punctului material se situează sub o anumită limită, atunci, conform mecanicii clasice, el nu poate părăsi niciodată regiunea G. În schimb, conform mecanicii cuantice, punctul material, după o perioadă ce nu este imediat predictibilă, poate părăsi regiunea G, într-o direcţie imposibil de prevăzut, evadând în spaţiul înconjurător. După Gamow, cazul acesta este un model simplificat al dezintegrării radioactive.

Mecanica cuantică tratează acest caz în felul următor: în momentul t0 avem un sistem de unde Schrödinger aflat în întregime înăuntrul lui G. După momentul t0 însă, undele părăsesc interiorul lui G îndreptându-se în toate direcţiile, în aşa fel încât amplitudinea undei care iese este mică în comparaţie cu amplitudinea iniţială a sistemului de unde din interiorul lui G. Cu cât aceste unde se propagă mai departe, cu atât scade amplitudinea undelor înăuntrul lui G şi în mod corespunzător scade intensitatea undelor ulterioare care ies din G. Numai după trecerea unui timp infinit rezerva de unde din G va fi epuizată, iar unda

exterioară se va fi propagat într-un spaţiu din ce în ce mai mare.

Dar ce are a face acest proces ondulatoriu cu primul obiect al interesului nostru, particula cuprinsă iniţial în G? Pentru a răspunde la această întrebare trebuie să ne imaginăm un aranjament care să ne permită efectuarea de măsurători asupra particulei. De pildă, să ne imaginăm undeva în spaţiul înconjurător un ecran în aşa fel făcut încât particula să rămână fixată de el atunci când vine în contact cu el. Atunci, din intensitatea undelor care lovesc ecranul într-un anumit punct, tragem concluzii cu privire la probabilitatea ca particulă să lovească ecranul în cutare loc şi moment. De îndată ce particulă a lovit un punct determinat al ecranului, întreg câmpul de unde îşi pierde cu totul semnificaţia fizică; singura lui menire a fost să permită predicţii probabilistice cu privire la locul şi timpul în care particula va lovi ecranul (sau, de exemplu, impulsul ei în momentul când loveşte ecranul).

Toate celelalte cazuri sunt analoge. Scopul teoriei este să determine probabilitatea rezultatelor măsurătorii efectuate asupra sistemului la un moment dat. Pe de altă parte, ea nu încearcă să dea o reprezentare matematică a ceea ce există sau a ceea ce se petrece efectiv în spaţiu şi timp. În această privinţă actuală teorie cuantică diferă fundamental de toate teoriile anterioare ale fizicii, atât cele mecanice, cât şi cele ale câmpului. În locul unei descrieri prin modele a evenimentelor spaţio-temporale efective, ea dă desfăşurarea în timp a distribuţiilor probabiliste pentru măsurători posibile.

Trebuie admis că noua concepţie teoretică îşi datorează originea nu vreunui joc al fanteziei, ci forţei constrângătoare a faptelor de experienţă. Până în prezent toate încercările de a reprezenta direct trăsăturile corpusculare şi ondulatorii manifestate în fenomenele luminii şi ale substanţei materiale printr-un model spaţio-temporal au eşuat. După cum a arătat în mod convingător

Heisenberg, din punct de vedere empiric orice decizie privind o structură riguros determinată a naturii este categoric exclusă, din cauza structurii atomice a aparatului nostru experimental. De aceea, probabil, nici vorbă nu poate fi ca vreo cunoştinţă dobândită în viitor să oblige din nou fizica să abandoneze actualul fundament teoretic statistic în favoarea unuia determinist legat direct de realitatea fizică. Considerând lucrurile din punct de vedere logic, problema pare a oferi două posibilităţi între care putem în principiu să alegem. În ultimă instanţă, alegerea va fi făcută în funcţie de tipul de descriere care facilitează, logic vorbind, formularea celui mai simplu fundament. În prezent nu dispunem de nici o teorie determinată care ar descrie direct evenimentele înseşi şi ar fi în concordanţă cu faptele.

Deocamdată trebuie să recunoaştem că, în cazul fizicii, nu posedăm nici o bază teoretică generală care să poată fi privită drept fundamentul ei logic. Teoria câmpului a eşuat până acum în sfera moleculară. Pe de altă parte şi teoria cuantică stă în faţa unor greutăţi ce par să aibă rădăcini adânci. Toată lumea este de acord că doar o asemenea formulare a teoriei cuantice ar putea să fie pusă ca fundament, care ar constitui o traducere a teoriei câmpului în schema statisticii cuantice. Nimeni nu poate să prevadă dacă lucrul acesta va putea fi realizat într-un mod satisfăcător.

Unii fizicieni, între care mă număr şi eu, nu pot să creadă că trebuie să abandonăm, efectiv şi pentru totdeauna, ideea reprezentării directe a realităţii fizice în spaţiu şi timp; sau că trebuie să acceptăm punctul de vedere după care evenimentele din natură sunt analoge unui joc de noroc. Orice om e liber să aleagă în ce sens să-şi orienteze străduinţele; de asemenea, orice om se poate mângâia cu vorbă lui Lessing că mai de preţ este căutarea adevărului decât stăpânirea lui. [86]

SFÂRŞIT

[1]. În acest text este formulată clar, poate pentru prima dată, ideea de bază pe care se sprijină modelul ipotetic-deductiv al ştiinţei teoretice. Activitatea omului de ştiinţă teoretică cuprinde două părţi principale: formularea principiilor teoriei şi deducerea unor consecinţe empirice din aceste principii. Prima dintre ele este caracterizată drept o activitate pur imaginativă: principiile teoretice sunt o creaţie liberă a închipuirii omului de ştiinţă. Valoarea şi utilitatea lor poate fi determinată însă numai prin compararea consecinţelor derivate din ele cu datele experienţei. Deducerea consecinţelor empirice din principiile teoretice este, spre deosebire de formularea principiilor, o activitate sistematică în care cercetătorul aplică metode ce pot fi învăţate. Logicieni ai ştiinţei ca R. Carnap, C. G. Hempel sau K. R. Popper, care au elaborat modelul ipotetic-deductiv al structurii ştiinţei teoretice, se sprijină pe distincţia formulată aici de Einstein. Activitatea omului de ştiinţă teoretică, afirmă Popper, are două părţi: formularea teoriilor şi supunerea lor controlului experienţei. „O analiză logică a primei părţi a acestei activităţi, inventarea teoriilor, nu mi se pare nici posibilă, nici necesară. Întrebarea cum

[2]. Afirmaţia lui Einstein că ipoteza cuantelor „a răsturnat mecanica clasică „trebuie înţeleasă în sensul că, în acel domeniu de cercetare care a fost deschis prin studiile lui Planck asupra radiaţiei termice, consecinţele deduse din mecanica clasică nu pot fi puse de acord cu datele experienţei. Cu alte cuvinte, descoperirea lui Planck a oferit indicaţii cu privire la limitele aplicării legilor mecanicii clasice. Aceste legi sunt numite „legi limită „în sensul că nu

pot fi aplicate cu succes decât într-un domeniu limitat al experienţei fizice.

[3]. Este interesant că Einstein subliniază aici necesitatea formulării unor noi legi ale mişcării pentru elementele constitutive de bază ale substanţei materiale cunoscute în acea vreme. Deşi depăşise deja perioada cea mai fertilă a activităţii sale ştiinţifice, Einstein nu adoptă o atitudine propriu-zis conservatoare. Opoziţia lui ireductibilă de mai târziu faţă de acceptarea a ceea ce numea „teoria statistică a cuantelor „pornea de la respingerea supoziţiei adoptate de interpretarea general acceptată, interpretarea şcolii de la Copenhaga şi anume că teoria oferă o descriere completă a stărilor fizice reale. Einstein respingea această supoziţie care era în contradicţie cu idealul său ştiinţific. Nu era vorba aşadar de conservatorism în sensul obişnuit al cuvântului.

[4]. Formulări cum sunt „corespondenţa sau acordul cu realitatea a principiilor teoriei „şi „acordul cu datele experienţei al principiilor teoriei „sunt folosite adesea de fizician ca expresii echivalente. Acesta pare să fie cazul şi în acest pasaj.

[5]. Ca şi în alte texte scrise ulterior, Einstein descrie aici teoria restrânsă şi generală a relativităţii drept extinderi ale principiului relativităţii din fizica clasică. Aceste extinderi au fost realizate prin eforturi teoretice inventive, creatoare, în care rolul hotărâtor îl joacă consideraţii de natură matematică. În Despre metoda fizicii teoretice

[6]. Asemenea remarci merită toată atenţia. Ele sugerează că Einstein vede însemnătatea lui Mach nu atât în activitatea lui de teoretician al cunoaşterii ştiinţifice, cât mai degrabă în cea de critic al ştiinţei timpului său. Mach a contribuit mai mult ca oricare altul din generaţia sa, îndeosebi prin lucrările sale istorice, la încurajarea unui examen critic al fundamentelor cunoaşterii fizice. Einstein vorbeşte aici ca unul ce a resimţit în mod fericit puterea stimulatoare a cercetărilor istorico-critice întreprinse de

Mach, fără să-şi fi însuşit însă pur şi simplu punctul de vedere al fizicianului austriac cu privire la direcţiile în care ar trebui orientată cercetarea fizică. Einstein lasă să se înţeleagă că vede influenţa lui Mach nu în primul rând în ceea ce a spus acesta despre natura cunoaşterii omeneşti în genere, în răspunsurile pe care le-a dat unor interogaţii filozofice cu o lungă tradiţie, ci în reflecţiile sale critice asupra dezvoltării cunoaşterii fizice moderne de felul celor cuprinse în cunoscuta sa lucrare asupra istoriei mecanicii. Creatorul teoriei relativităţii a beneficiat de acţiunea eliberatoare a analizelor istorico-critice ale lui Mach într-o epocă în care dominau autoritar convingerile dogmatice cu privire la fundamentele ştiinţelor naturii. În anii săi de mai târziu, Einstein a exprimat mai clar şi mai net temeiurile atitudinii sale bivalente faţă de concepţiile lui Mach. În Notele autobiografice, scrise în 1947 întâlnim o formulare deosebit de concisă şi de concludentă: „Eu văd măreţia reală a lui Mach în scepticismul şi independenţa lui incomparabile; în tinereţe m-a impresionat puternic şi poziţia epistemologică a lui Mach care îmi apare astăzi ca fiind în principiu de nesusţinut.

[7]. Aşa cum reiese din acest pasaj, punctul de vedere al lui Mach era un punct de vedere empirist deosebit de radical. Aşa cum s-a subliniat adesea, Einstein a exploatat în unele cercetări ştiinţifice din tinereţe valoarea euristică a acestui punct de vedere, de pildă în analiză critică a conceptului simultaneităţii. Întrebarea „în ce constă simultaneitatea evenimentelor? „a fost reformulată astfel: „cum putem determina operaţional simultaneitatea a două evenimente? „Einstein nu a lucrat însă niciodată conducându-se după principiul machist potrivit căruia „conceptele au sens numai în măsura în care pot fi arătate lucrurile la care se raportează ele „. Fără îndoială că dacă ar fi urmat în mod strict un asemenea principiu Einstein nu ar fi putut formula teoria relativităţii şi alte idei care i-au asigurat un loc unic în creaţia ştiinţifică a secolului nostru.

Mach însuşi pare să fi înţeles clar incompatibilitatea dintre principiile sale epistemologice şi construcţiile teoretice einsteiniene. Judecata negativă a lui Mach asupra teoriei relativităţii, formulată fără echivoc într-o prefaţă scrisă în 1913 la cartea sa Principiile opticii (cartea apare abia în 1921 după moartea lui Mach), poate fi interpretată [8]. Einstein lasă clar să se înţeleagă că lectura lucrărilor lui Mach poate da noi impulsuri gândirii ştiinţifice creatoare în măsura în care uşurează o distanţare critică de concepte şi principii adânc înrădăcinate, a căror autoritate se întemeiază pe obişnuinţă şi nu are o justificare superioară, cum s-a crezut adesea. Cele mai multe din pronunţările asupra lui Mach din anii mai târzii ai lui Einstein, pronunţări în care judecata negativă asupra concepţiei machiste a cunoaşterii ştiinţifice este formulată fără echivoc, dar se subliniază, totodată, influenţa pozitivă pe care a avut-o contactul în tinereţe cu scrierile lui Mach, pot fi mai bine înţelese din această perspectivă. Cel mai clar şi mai larg s-a exprimat Einstein cu privire la ceea ce îi datorează lui Mach, în ciuda dezacordului lor principial, pe plan epistemologic, într-o scrisoare din 6 ianuarie 1948 adresată prietenului său din tinereţe M. Besso: „În ceea ce-l priveşte pe Mach, trebuie să fac distincţia dintre influenţa lui în general şi efectul pe care l-a produs asupra mea. Mach a realizat importante cercetări speciale (de exemplu, descoperirea undelor de şoc, care este bazată pe o metodă optică într-adevăr genială). Totuşi, nu vreau să vorbim de aceasta, ci de influenţa lui asupra atitudinii generale faţă de fundamentele fizicii. Marele său merit este de a fi înmlădiat dogmatismul ce domnea în secolele al XVIII-lea şi al XIX-lea în ceea ce priveşte fundamentele fizicii. El a încercat să arate, îndeosebi în mecanică şi în teoria căldurii, cum s-au născut noţiunile din experienţă. El a apărat cu convingere punctul de vedere potrivit căruia noţiunile să le considerăm pe cele fundamentale nu-şi trag justificarea decât din experienţă şi nu sunt în nici un fel necesare din punct de

vedere logic. Acţiunea lui a fost deosebit de binefăcătoare când a arătat în mod clar că problemele fizice cele mai importante nu sunt de natură matematico-deductivă; cele mai importante sunt cele ce se raportează la principii de bază. Slăbiciunea lui o văd în faptul că el credea mai mult sau mai puţin că ştiinţa constă numai în ordonarea materialului experimental, adică în faptul că a tăgăduit elementul constructiv liber ce intervine în elaborarea unei noţiuni. El gândea într-un fel că teoriile sunt rezultatul unei descrieri şi nu al unei invenţii. El mergea chiar atât de departe încât consideră «senzaţiile» nu numai ca un material de conceptualizat, ci, de asemenea, într-o anumită măsură ca materialele de construcţie ale lumii reale; el credea că va putea umple astfel prăpastia ce există între psihologie şi fizică. Dacă ar fi fost pe de-a întregul consecvent, el nu ar fi trebuit să respingă doar atomismul, ci şi ideea unei realităţi fizice. Cât despre influenţa lui Mach asupra evoluţiei gândirii mele, ea a fost în mod sigur foarte mare. Îmi amintesc foarte bine că tu m-ai făcut atent asupra tratatului său de mecanică şi asupra teoriei

[9]. Fără îndoială că desprinderea de idei atât de adânc înrădăcinate nu numai în tradiţia fizicii clasice, ci şi în gândirea comună, cum sunt ideile spaţiului şi timpului absolut, nu se putea realiza dintr-o dată. Cu atât mai puţin putea fi ea realizată doar sub influenţa unor consideraţii critice de principiu, cum au fost cele formulate în lucrările lui Mach. Succesele teoriei relativităţii au avut un rol determinant în înfăptuirea acestei schimbări profunde în gândirea fizică.

[10]. Pasajele citate de Mach din cartea lui I. Newton Principiile matematice ale filozofiei naturale au fost reproduse după traducerea în limba română realizată de Victor Marian, Editura Academiei, Bucureşti, 1956

[11]. În traducerea românească, descrierea acestui experiment se găseşte la paginile 33–34

[12]. Einstein nu are în vedere, desigur, legile mecanicii, ci supoziţiile filozofice, reprezentarea despre natură pe care se sprijină noţiuni fundamentale ale mecanicii newtoniene cum sunt cele de timp şi spaţiu. Din acest pasaj, ca şi din alte pasaje risipite în scrierile sale, reiese clar că pentru Einstein teoria relativităţii reprezintă o revizuire a unor concepte ale cinematicii şi dinamicii clasice şi, prin urmare, a concepţiei despre natură care a dominat secolele al XVIII-lea şi al XIX-lea. Înclinaţia adesea spontană a lui Einstein spre o interpretare realistă a semnificaţiei teoriilor fizice fundamentale iese mai clar în evidenţă dacă o comparăm cu punctul de vedere al altor mari fizicieni creatori ai secolului nostru.

[13]. Este uşor de văzut că Einstein relevă în preocupările lui Mach ceea ce îi este apropiat, în acest caz interesul pentru probleme de principiu. Acest interes trebuie admirat cu deosebire la un om de ştiinţă foarte înzestrat pentru cercetarea experimentală. Einstein subliniază deosebirea dintre cercetările de fundamente cultivate de Mach şi cercetările tehnice într-un cadru dat, considerat ca asigurat, cercetări ce constituie îndeletnicirea imensei majorităţi a oamenilor de ştiinţă. El nu va putea, desigur, trece cu vederea că elaborarea teoriei relativităţii a fost impulsionată în mod hotărâtor de interesul pentru cercetarea critică a fundamentelor, un interes care a fost cu totul caracteristic pentru multe din investigaţiile întreprinse de Mach. Einstein îl omagiază pe Mach ca pe un cercetător cu asemenea interese. Pasaje semnificative din acest text, ca şi din alte texte filozofice ale lui Einstein, pot fi citite drept un elogiu a ceea ce Popper va caracteriza mai târziu ca „ştiinţă eroică „.

[14]. Vorbind de Planck, Einstein caracterizează în aceste rânduri în mod potrivit şi propria lui situaţie faţă de muncă de cercetare ştiinţifică. Într-o scrisoare adresată prietenului său din tinereţe M. Solovine, el observă: „Interesul meu pentru ştiinţă era în fond limitat întotdeauna la studiul

principiilor, ceea ce explică cel mai bine întreaga mea comportare. Faptul că am publicat atât de puţin ţine de aceeaşi împrejurare, dat fiind că dorinţa arzătoare de a înţelege principiile a avut drept consecinţă că majoritatea timpului a fost consumată cu eforturi infructuoase. „(A. Einstein către M. Solovine la 30 octombrie 1924 în A. Einstein, Lettres à Maurice Solovine, Gauthier Villars, Paris, 1956 p. 49)

[15]. Referindu-se la marele său coleg, Einstein dezvăluie şi aici propriile sale preocupări şi năzuinţe. Afirmaţii semnificative în acest sens găsim îndeosebi în Notele autobiografice.

[16]. Lumea este spaţial infinită. Acest lucru este posibil numai dacă densitatea spaţială medie a materiei concentrate în stele se anulează, adică dacă relaţia dintre masa totală a stelelor şi mărimea spaţiului în care sunt ele împrăştiate se apropie nelimitat de valoarea zero, dacă spaţiile considerate sunt tot mai mari.

[17]. Lumea este spaţial finită. Acesta trebuie să fie cazul dacă există o densitate medie diferită de zero a materiei ponderabile în univers. Volumul universului este cu atât mai mare cu cât această densitate medie este mai mică.

[18]. Este vorba de lucrarea lui M. Schlick, Allgemeine Erkenntnislehre, Verlag von Julius Springer, Berlin, prima ediţie 1918 a doua ediţie 1925

[19]. Critica concepţiei convenţionaliste asupra geometriei, în formularea pe care i-a dat-o H. Poincaré, aşa cum este ea dezvoltată în acest text poate fi comparată cu discuţia imaginată de Einstein în Obsevaţii asupra articolelor reunite în acest volum, între un susţinător şi un critic al concepţiei convenţionaliste asupra geometriei.

[20]. Raţiunile examenului critic la care supune Einstein ideea caracterului convenţional al alegerii geometriei utilizate în descrierea spaţiului fizic, idee legată de numele lui Poincaré, apar aici cu multă claritate. Descrierea metricii spaţiului în teoria generalizată a relativităţii

primeşte semnificaţie fizică şi, totodată, filozofică numai dacă admitem supoziţia că adoptarea unei geometrii euclidiene sau neeuclidiene pentru descrierea fizică este o chestiune în care decide experienţa şi nu o convenţie „ce urmează să fie aleasă pe temeiuri de convenabilitate „.

[21]. Aceasta este prima formulare a credo-ului epistemologic al lui Einstein, despre care va scrie în autobiografia sa intelectuală că s-a conturat „mai târziu şi încet „şi că „nu corespunde punctului de vedere pe care l-am adoptat în anii mai tineri „. Caracteristice pentru concepţia realistă a lui Einstein asupra cunoaşterii fizice, aşa cum este ea formulată în acest text, sunt trei motive. Mai întâi, observaţia că simţurile ne dau numai o informaţie indirectă asupra realităţii, care poate fi cunoscută numai pe cale „speculativă „(raţională). În al doilea rând, identificarea realităţii fizice cu lumea exterioară. În al treilea rând, concluzia că, de vreme ce teoriile nu pot fi derivate din fapte, ci sunt produsul imaginaţiei creatoare a [22]. În alt text, Fizică şi realitatea, Einstein apreciază că prin opera lui Maxwell câmpul continuu şi-a făcut loc mai mult inconştient ca „reprezentant al realităţii fizice „. Aceasta deoarece marele fizician englez a rămas ataşat în gândirea lui conştientă de ideea că punctele materiale ale mecanicii newtoniene constituie baza întregii realităţi fizice. Maxwell a încercat să construiască modele mecanice ale eterului.

[23]. Programul teoriei unitare a câmpului, la care Einstein lucra deja în perioada în care a scris acest text, urmărea tocmai realizarea acestei idei. Einstein omagiază în Maxwell pe cercetătorul în a cărui operă vede prima licărire a ideii unificării cunoaşterii fizice pe baza câmpului continuu, o idee care a orientat întreaga activitate a creatorului teoriei relativităţii, ca cercetător al naturii.

[24]. Aceste observaţii indică foarte limpede de ce credea Einstein că numai o teorie generală a câmpului va însemna desăvârşirea acelei linii de gândire care a fost inaugurată

de teoria câmpului a lui Maxwell şi continuată de teoria relativităţii. Pentru Einstein teoria generală a relativităţii constituia o treaptă importantă, dar numai o treaptă, pe calea spre acest ţel.

[25]. Pentru o reluare a acestei aprecieri, vezi Fundamentele fizicii teoretice.

[26]. Acest text exprimă, poate mai clar şi mai net decât oricare altul, punctul de vedere al lui Einstein în mult discutata problemă a determinismului cuantic. Determinismul strict pare să fie pentru Einstein o idee regulativă pe care nu o poate clinti nici o experienţă. El nu crede că relaţiile de nedeterminare ale lui Heisenberg ar impune reconsiderarea concepţiei statornicite asupra determinismului naturii. O abatere de la determinismul strict, ceea ce se desemnează de obicei prin termenul indeterminism, nu poate fi niciodată o trăsătură a naturii. „Indeterminiştii „ar transfera asupra naturii anumite insuficienţe temporare ale cunoaşterii noastre despre natură. Punctul de vedere susţinut de Einstein în acest text este un punct de vedere în esenţă laplacean.

[27]. Determinarea evenimentelor fizice prin legi de câmp este caracterizată drept una mai „strictă „decât cea pe care o exprimă principiul comun al cauzalităţii. Autorul crede de asemenea că determinarea evenimentelor prin legi de câmp este mai cuprinzătoare decât acea determinare pe care o exprimă o relaţie cauzală între două evenimente ce se succedă în timp.

[28]. Această explicaţie a reacţiei negative a mediului cultural al vremii faţă de ideea universalităţii determinării cauzale aduce aminte de o încercare mai recentă de a explica tendinţa unor fizicieni de a slăbi principiul determinismului ca rezultat al influenţei unei mişcări de idei care s-a impus în Germania după primul război mondial. Într-un mult discutat articol al lui P. Forman, Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918–1927 publicat în 1971 indeterminismul în mecanica cuantică este

pus în relaţie cu tendinţele iraţionaliste ce dominau atmosferă spirituală a epocii. Forman susţine că ofensiva curentului de gândire mistic şi romantic al vremii împotriva spiritului ştiinţific, considerat drept mecanicist şi raţionalist, s-a concentrat asupra principiului cauzalităţii. El apreciază că interpretarea statistică a mecanicii cuantice ar putea fi înţeleasă mai bine drept o concesie făcută de fizicieni tendinţei iraţionaliste dominante. „Deşi acordul de a vedea procesele atomice ca implicând un «eşec al cauzalităţii» s-a dovedit şi a rămas o abordare fertilă scrie Forman înainte de introducerea unei mecanici cuantice raţionale acauzale, tendinţa de a renunţa la cauzalitate exprimă mai puţin un program de cercetare cât o propunere de a sacrifica fizica, de fapt întreprinderea ştiinţifică, Zeitgeist-ului (spiritul timpului). „(Vezi Historical Studies În the Physical Science, nr. 3 p. 112) [29]. Acest pasaj arată clar cât de departe mergea Einstein în contestarea noutăţii situaţiei conceptuale create în fizică prin formularea relaţiei de nedeterminare. El considera că aici, ca şi în alte [30]. Este o aluzie clară la lucrări de filozofia ştiinţei, destinate unui public larg, care au fost publicate în acea vreme de cunoscuţii oameni de ştiinţă englezi A. Eddington şi J. Jeans. Pe marginea lor se discută foarte mult în anii când a avut loc această convorbire.

[31]. Einstein exprimă deosebit de clar opinia că orice cercetător al naturii este în mod spontan un realist, în sensul că atribuie obiectelor cercetării o existenţă independentă de experienţă. Este îndoielnic însă că Eddington şi Jeans ar fi susţinut că scriitori lucruri în care nu credeau câtuşi de puţin ca cercetători ai naturii, aşa cum afirmă Einstein. În acest text Einstein formulează probabil pentru prima dată aderenţa sa fără echivoc la concepţia realistă apărată în acel timp de Planck, o temă care va ocupa un loc tot mai însemnat în reflecţiile filozofice din ultima perioadă a vieţii sale. Lui M. Solovine, Einstein îi scria la 10 aprilie 1938: „Tot astfel cum în vremea lui Mach

domina într-un mod dăunător un punct de vedere materialist dogmatic, în zilele noastre domină într-un mod excesiv punctul de vedere subiectivist şi pozitivist. „(op. Cât, p. 71). Einstein socotea că se impune combaterea acestei tendinţe în primul rând deoarece ea ameninţă dezvoltarea sănătoasă a gândirii ştiinţifice.

[32]. Einstein sugerează că poate exista o nepotrivire între semnificaţia generală a activităţii unui creator de ştiinţă teoretică şi concepţiile sale metodologice. Mari fizicieni creatori din secolele trecute, în frunte cu Newton, au susţinut că teoriile lor ar fi derivate din fapte prin inducţie. Mai departe, Einstein arată că dezvoltarea ştiinţei teoretice în secolul nostru, în particular elaborarea teoriei generale a relativităţii ca o nouă teorie a gravitaţiei, deosebită de cea a lui Newton, probează că teoriile fizice sunt inventate şi nu pur şi simplu descoperite de oameni.

[33]. Cercetătorul gândeşte asupra naturii ştiinţei teoretice din perspectiva unor idealuri de cunoaştere şi experienţe care pot să aibă un caracter destul de personal. Modul lui de a vedea ştiinţa nu va putea fi întotdeauna împărtăşit de alţi cercetători cu preferinţe şi experienţe diferite. Einstein compară această situaţie cu cea a unor istorici competenţi şi experimentaţi care ar putea reconstitui în moduri diferite acelaşi episod al trecutului dacă reprezentările lor spontane sau conştiente asupra obiectului cercetării istorice vor fi sensibil diferite. Einstein a avertizat nu o dată că reflecţiile sale asupra ştiinţei nu pot fi bine înţelese decât în contextul aspiraţiilor şi speranţelor care au orientat strădaniile sale ca cercetător al naturii, a ceea ce a putut învăţa din succesele şi eşecurile acestor strădanii. Vezi în această privinţă şi Observaţii asupra articolelor reunite în acest volum, nota (19), precum şi pasajul la care se referă această notă.

[34]. Punctul de vedere că recunoaşterea necesităţii de a supune speculaţiile teoretice despre natură controlului experienţei ar distanţa în primul rând fizica galileană de

fizică de tradiţie aristotelică era general acceptat în epoca în care a fost scris acest text. O schimbare radicală de perspectivă în înţelegerea noutăţii şi originalităţii concepţiei galileene asupra ştiinţei naturii s-a produs ulterior în istoria ştiinţei, îndeosebi sub influenţa lucrărilor de pionierat ale lui Alexandre Koyré.

[35]. Aceasta este una din cele mai clare formulări ale principiului simplităţii logice căruia Einstein îi acordă o mare greutate în aprecierea gradului de „perfecţiune internă a unei teorii „. Vezi în acest sens şi pasajul din Note autobiografice care se referă la criteriile interne de apreciere a teoriilor fizice, precum şi postfaţa „Idealul cunoaşterii şi idealul umanist la Albert Einstein „.

[36]. Exprimări de acest fel pot fi întâlnite nu o dată în scrierile lui Einstein. Ele semnalează distanţarea autorului de punctul de vedere potrivit căruia o teorie fizică va fi declarată „adevărată „de câte ori se constată un acord sistematic al consecinţelor derivate din ea cu faptele unui domeniu determinat al experienţei. Din acest punct de vedere, două teorii fizice ale căror consecinţe sunt confirmate sistematic de aceleaşi date de observaţie sau experimentale sunt în [37]. Acest pasaj oferă o indicaţie importantă cu privire la felul în care vedea Einstein rolul gândirii matematice în înaintarea spre o cunoaştere mai adecvată a realităţii fizice. Dacă adoptăm supoziţia că structurile fundamentale, de adâncime, ale lumii sunt simple, atunci consideraţii formale, de simplitate matematică, ne pot conduce spre descoperirea acestor structuri.

[38]. Einstein afirmă clar că aderenţa lui necondiţionată la o concepţie de tip clasic asupra teoriei ca descriere a realităţii fizice îl determină să nu accepte teoria cuantică, în interpretarea ei curentă, ca o teorie fizică fundamentală. Programul lui Einstein a fost, după cum se ştie, deducerea efectelor cuantice din legile unei teorii generale a câmpului care descriu un spaţiu cu patru dimensiuni.

[39]. De câte ori Einstein îşi exprimă preţuirea pentru un filozof, primul impuls îl constituie sentimentul că a putut învăţa ceva important de la el. Din scrierile lui Hume, pe care le-a studiat în tinereţe în cadrul aşa-numitului cerc Olimpia, împreună cu M. Solovine şi C. Habicht, Einstein pare să fi desprins câteva învăţături care i-au orientat judecata, cu deosebire în problemele ştiinţei teoretice. Primul dintre ele este că realismul naiv nu poate fi susţinut şi că, din acest punct de vedere, experienţa istorică a dezvoltării ştiinţelor naturii sprijină concluziile filozofilor empirişti. Al doilea învăţământ este că nici o cunoaştere despre realitate nu poate fi dobândita şi asigurată numai prin raţiune. În sfârşit, citindu-l pe Hume, Einstein a înţeles mai bine că nu există condiţii a priori, date o dată pentru totdeauna, ale cunoaşterii prin experienţă, necesităţi absolute ale gândirii, ci numai forme de gândire relativ adecvate pentru un domeniu determinat al experienţei, care devin obişnuinţe de gândire adânc înrădăcinate ori de câte ori cercetarea nu depăşeşte o lungă perioadă de timp limitele acestui domeniu. Categoriile gândirii fizice mecaniciste sunt tocmai asemenea forme ale gândirii.

[40]. În acest pasaj accentul cade pe critica tezei atât de familiare a empirismului tradiţional, necritic, după care noţiunile iau naştere din datele simţurilor pe o cale logică, prin generalizare sau inducţie. Ceea ce ne reţine cu deosebire atenţia este încercarea lui Einstein de a arăta de ce această idee ne apare atât de naturală şi de familiară. Ori de câte ori anumite noţiuni funcţionează bine şi o perioadă mai lungă de timp în coordonarea informaţiilor pe care ni le dau simţurile ne permit să sistematizăm aceste informaţii şi să anticipăm evenimentele viitoare, în primul rând rezultatele acţiunilor noastre, se creează impresia că aceste noţiuni au luat naştere prin neglijarea trăsăturilor individuale şi prin generalizarea a ceea ce este comun în informaţiile despre stări şi evenimente particulare furnizate de organele de simţ. Nu este de mirare că această impresie

este mai puternică în cazul noţiunilor gândirii comune. Deşi respinge aserţiunile specifice ale apriorismului kantian, Einstein apreciază că familiarizarea cu ideile filozofului german poate contribui în mod salutar la slăbirea autorităţii concepţiei inductiviste cu privire la originea şi natura noţiunilor ce constituie cadrele generale ale gândirii comune şi ştiinţifice. Pentru o apreciere mai explicită a modului cum înţelegea Einstein, ca fizician teoretician, meritele teoriei cunoaşterii a lui Kant, vezi şi Observaţii asupra articolelor reunite în acest volum, cu deosebire pasajul indicat de notă (15).

[41]. Cum indică şi ghilimelele, autorul foloseşte aici termenul metafizică într-un sens peiorativ, sensul în care termenul era folosit adesea în literatura filozofică şi ştiinţifică de limbă engleză din acel moment.

[42]. În această a doua parte a textului Einstein se delimitează în mod clar de concepţia empiristă asupra cunoaşterii pentru care a găsit atâtea cuvinte de apreciere la începutul articolului. Teza că noţiunile gândirii comune şi ştiinţifice, în particular principiile ştiinţei teoretice, pot fi derivate prin abstractizare şi generalizare din „materialul furnizat de simţuri „i se pare în aceeaşi măsură greşită ca şi [43]. Ceea ce Einstein numeşte aici „metafizică „este punctul de vedere că, prin concepte ce nu pot fi derivate din cunoştinţe despre fapte particulare, care trec mult dincolo de ceea ce ne este dat prin simţuri, putem ajunge la cunoştinţe tot mai adecvate despre existenţa reală. Acest fel de a vedea lucrurile îi apare drept premisă a activităţii omului de ştiinţă teoretică. Pentru Einstein atitudinea reticentă şi chiar negativă faţă de gândirea constructivă pe care o generează „teama de metafizică „este tot atât de potrivită spiritului cunoaşterii ştiinţifice ca şi speculaţiile ce se sustrag în principiu controlului experienţei.

[44]. La 6 noiembrie 1919 a avut loc la Londra o şedinţă comună a Societăţii Regale de Ştiinţe şi a Societăţii Astronomice Regale, în care au fost anunţate constatările

făcute de expediţiile astronomice engleze din Brazilia şi Africa de Vest cu ocazia eclipsei totale de soare din 29 martie a aceluiaşi an. Ele au confirmat o predicţie a teoriei generale a relativităţii. Ecoul public al acestui eveniment pur ştiinţific a fost neobişnuit de mare. Mai întâi, deoarece confirmarea prin observaţii astronomice a teoriei lui Einstein punea într-o lumină nouă teoria gravitaţiei a lui Newton, o teorie care a fost aplicată cu succes mai mult de două secole. În al doilea rând, fiindcă această confirmare a unei teorii îndrăzneţe formulate de către un om de ştiinţă german a fost realizată de cercetători englezi la puţin timp după încheierea unui lung şi sângeros conflict între cele două ţări. În ziarul Times din 7 noiembrie 1919 alături de evenimentele [45]. Autorul se referă la verificarea uneia din predicţiile teoriei generale a relativităţii, curbura razelor de lumină în câmpul gravitaţional al Soarelui, care a fost întreprinsă cu ocazia eclipsei de soare din 29 martie 1919 Două expediţii echipate de Societatea Regală de Ştiinţe din Londra, sub conducerea astronomilor Eddington şi Crommelin, au luat fotografii la Sobral, în nordul Braziliei şi pe insula Principe, în golful Guineei. Unele fotografii au arătat clar că razele de lumină emanate de la stelele fixe apropiate de soare au fost deviate când au trecut prin câmpul gravitaţional al soarelui. Einstein a calculat o abatere de 175 secunde de arc, iar măsurătorile au indicat o abatere de aproximativ 170 secunde de arc. Observaţiile au fost repetate în 1952 în Sudan cu o aparatură mai fină, dând rezultate apropiate de cele prezise de teorie. Confirmarea unei predicţii atât de riscante a contribuit mult la creşterea reputaţiei lui Einstein în afara unor cercuri ştiinţifice mai înguste. Einstein îi scria lui Planck: „Este totuşi o favoare a sorţii că am putut să trăiesc această clipă. „ [46]. Pentru o altă referire la distincţia dintre teorii constructive şi teorii de principii şi pentru caracterizarea teoriei relativităţii ca o teorie de principii, vezi şi Note autobiografice.

[47]. Einstein reia aici observaţii formulate şi în alte texte cu privire la rolul pe care l-au jucat consideraţiile de principiu în elaborarea teoriei restrânse şi generale a relativităţii. Teoria restrânsă a relativităţii a izvorât din străduinţele de a armoniza două principii fizice confirmate de experienţă, dar aparent incompatibile, principiul relativităţii mişcării şi principiul constanţei vitezei luminii în vid. Deducţia matematică a fost în măsură să arate că preţul ce trebuie plătit pentru formularea unei teorii mai generale a mişcării este revizuirea conceptelor de spaţiu şi timp ale cinematicii clasice. Vezi şi nota 5 la Discurs de recepţie la Academia prusacă de ştiinţe.

[48]. Este o formulare simplă şi clară a relaţiei de corespondenţă între două teorii fizice pe care Einstein le caracterizează drept esenţial deosebite în principiile lor. Dacă cele două teorii pot fi distinse ca descrieri ale lumii fizice reale, ele coincid în predicţiile lor într-un domeniu cuprinzător al experienţei, adică pentru acele [49]. Această apreciere ni se pare deosebit de importantă pentru înţelegerea aspiraţiilor care au animat cercetările teoretice ale lui Einstein şi a concluziilor pe care le-a tras el din succesul unora din strădaniile sale ştiinţifice. Valoarea teoriei generale a relativităţii stă, după Einstein, în relaţia logică deosebit de strânsă dintre principii şi consecinţe, în particular dintre principii şi consecinţele experimentale deduse din teorie. Acordul unei asemenea teorii cu datele experienţei nu va putea fi restabilit prin modificări ale unor ipoteze auxiliare, lăsând neatinse principiile teoriei. Dacă fie şi o singură consecinţă empirică dedusă din teorie va fi contrazisă de datele experienţei, teoria va trebui considerată drept infirmată. În încheierea foarte instructivei sale lucrări de popularizare, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (gemeinverständlich), a cărei primă ediţie apare în 1917 Einstein preciza: „Dacă deplasarea spre roşu a liniilor spectrale datorită câmpului gravitaţional nu ar exista,

teoria generală a relativităţii ar fi de nesusţinut. „Einstein sugerează clar că severitatea testelor empirice cărora poate să le fie supusă o teorie fizică sporeşte pe măsură ce creşte gradul de coerenţă internă al teoriei. Pe de altă parte, dacă consecinţele deduse dintr-o teorie atât de abstractă, care a fost elaborată pe baza unor consideraţii de principiu şi nu sub presiunea experienţei, sunt în mod sistematic de acord cu datele experienţei, rezultă că există un acord între consideraţii de simplitate logică şi frumuseţe matematică, pe de o parte şi natura realităţii, pe de altă parte. Ideea caracterului „inteligibil „, „raţional „al realităţii, idee care revine în mai multe texte scrise de Einstein după 1920 exprimă în primul rând modul cum a înţeles şi a interpretat el succesul străduniilor sale de generalizare a teoriei relativităţii. Sommerfeld îşi aminteşte că în faţa unei teorii ce i se părea arbitrară sau forţată, în contradicţie cu credinţa sa în simplitatea şi armonia raţională a naturii, Einstein obişnuia să spună: „Şo etwas tut der liebe Gott nicht „(Bunul Dumnezeu nu face aşa ceva). (Vezi A. Sommerfeld, Albert Einstein, în (ed.) P. A. Schilpp, Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher, W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1955 p. 40).

[50]. Consideraţii generale despre metoda ştiinţei [51]. Stratificarea sistemului ştiinţific [52]. Mecanică şi încercarea de a întemeia pe ea întreaga fizică [53]. Conceptul de câmp [54]. Teoria relativităţii [55]. Teoria cuantică şi fundamentele fizicii [56]. Teoria relativităţii şi particulele [57]. Rezumat [58]. Einstein îşi previne cititorul că reflecţiile fizicianului teoretician asupra cunoaşterii ştiinţifice şi asupra cunoaşterii omeneşti în genere nu sunt făcute pur şi simplu de dragul filozofiei. Dimpotrivă, consideraţiile filozofice de acest fel urmăresc să creeze cadrul necesar pentru o examinare critică a fundamentelor teoretice ale disciplinei. Ele sunt inspirate, aşadar, de o intenţie mai „practică „.

[59]. Einstein a afirmat nu o dată că natura conceptelor şi raportul lor cu impresiile senzoriale sunt în esenţă aceleaşi în gândirea ştiinţifică şi în gândirea comună. Orice încercare de clarificare a naturii cunoaşterii ştiinţifice trebuie să pornească, prin urmare, de la exprimarea cunoaşterii comune.

[60]. Einstein face aici două consideraţii asupra relaţiei dintre noţiuni şi impresiile senzoriale, consideraţii pe care le va relua şi în alte scrieri. În primul rând se afirmă că relaţia dintre noţiuni şi impresiile senzoriale corespunzătoare nu este una logică; noţiunile nu sunt derivate din impresiile senzoriale printr-un proces logic oarecare, cum ar fi abstractizarea şi generalizarea. În al doilea rând, se susţine că noţiunile despre obiecte corporale, despre însuşiri şi relaţii ale acestor obiecte, devine lipsite de semnificaţie de îndată ce nu pot fi puse într-o relaţie de corespondenţă cu anumite impresii senzoria- [61]. În opoziţie cu realismul gândirii comune, Einstein subliniază că „obiectele corporale „nu ne sunt date ca atare, ci sunt „postulate „de gândire. Nu există probe directe, ci doar indirecte în favoarea existenţei obiectelor corporale independent de experienţa noastră. Prin postularea obiectelor corporale, ca realităţi obiective, putem să explicăm capacitatea noţiunilor de a coordona şi anticipa în mod sistematic impresiile senzoriale. Este cea mai simplă şi mai naturală explicaţie, dacă nu cumva ne resemnăm să renunţăm la explicaţia funcţiei ordonatoare eminente a noţiunilor comune şi ştiinţifice. Einstein nu formulează clar această idee. El evită să o facă probabil deoarece simte că o asemenea presupunere este, pe de o parte, firească, naturală, iar, pe de altă parte, incontrolabilă şi în acest sens „metafizică „.

[62]. În contextul consideraţiilor sumare de mai sus, această sentinţă atât de mult invocată a lui Einstein ne apare ca enigmatică. Sensul ei ni se dezvăluie atunci când Einstein asociază „inteligibilitatea „sau „raţionalitatea

„universului cu ideea că structurile sale de adâncime sunt simple. Tocmai aceasta explică succesul uimitor al activităţilor ordonatoare pe care le realizează gândirea comună şi apoi ştiinţa prin postularea unor noţiuni şi principii de un nivel tot mai înalt de generalitate. „Găsiţi curios îi scria Einstein lui Solovine că eu consider posibilitatea de a înţelege lumea că un miracol sau ca un mister etern. Ei bine, a priori ne putem aştepta la o lume haotică care nu poate fi surprinsă în nici un fel de gândire. Am putea să ne aşteptăm ca lumea să fie supusă legii numai în măsura în care intervenim noi cu inteligenţa noastră ordonatoare. Felul de ordine creat de teoria generală a relativităţii este, dimpotrivă, de cu totul altă natură. Chiar dacă axiomele teoriei sunt formulate de oameni, succesul unei asemenea întreprinderi presupune un înalt grad de ordine a lumii obiective, pe care nu am fi autorizaţi câtuşi de puţin să o aşteptăm în mod a priori. Acesta este «miracolul» ce se întăreşte tot mai mult o dată cu dezvoltarea cunoştinţelor noastre. „(A. Einstein, Lettres à M. Solovine, p. 115) [63]. Consideraţiile de mai sus au constituit punctul de plecare pentru elaborarea unei problematici care a devenit consacrată în filozofia analitică a ştiinţei de la mijlocul secolului, îndeosebi datorită lucrărilor lui R. Carnap. Este vorba de problematica raporturilor dintre conceptele de observaţie şi conceptele teoretice. Logicienii ştiinţei s-au concentrat îndeosebi asupra analizei aşa-numitelor reguli de corespondenţă ce stabilesc corelaţii între aceste două tipuri de concepţii. Vezi în această privinţă articolul clasic al lui Carnap, The Methodological Character of Theoretical Concepts, în (eds.) H. Feigl, M. Scriven, Minnesota Studies În the Philosophy of Science, vol. I, 1956 [64]. Aceasta este o formulare deosebit de limpede a principiului simplităţii logice, un principiu care este pentru Einstein o exigenţă fundamentală în construcţia reprezentării conceptuale a unui domeniu al experienţei. Cunoaşterea ştiinţifică se impune în raport cu gândirea

comună tocmai fiindcă realizează o unificare incomparabil mai mare a experienţelor disparate. Einstein vede progresul teoriilor în dezvoltarea istorică a cunoaşterii fizice tocmai în satisfacerea într-o măsură tot mai mare a acestei cerinţe.

[65]. Einstein califică punctul de vedere că structurile fundamentale ale universului sunt simple, că lumea naturală realizează idealul simplităţii matematice, drept o „credinţă „. Este un punct de vedere ce nu poate fi întemeiat în mod constrângător. Einstein afirmă totuşi că succesele de până acum ale ştiinţei matematice a naturii fac ca o asemenea credinţă să ne apară plauzibilă.

[66]. Pentru alte consideraţii de acest fel vezi şi prima parte a articolului Geometrie şi experienţă.

[67]. O expresie clasică a „erorii „la care se referă Einstein aici este concepţia lui Kant despre caracterul sintetic a priori al enunţurilor geometriei euclidiene. Pentru critica acestei concepţii pornind de la un punct de vedere antiintuiţionist, formalist, asupra naturii geometriei matematice, vezi şi Geometrie şi experienţă.

[68]. Pentru dezvoltarea acestei idei, vezi îndeosebi articolul Emst Mach.

[69]. Pentru consideraţii asemănătoare, vezi şi Despre metoda fizicii teoretice.

[70]. Mach, spre deosebire de Mill, nu a fost de fapt un inductivist. El credea că introducerea noţiunilor şi principiilor fizicii este guvernată de cerinţa „economiei gândirii „. Esenţiale nu sunt însă aici asemenea nuanţe epistemologice, ci caracterizarea punctului de vedere fundamental al orientării fenomenologice în fizică, o orientare care acordă preferinţe conceptelor şi corelaţiilor ce sunt cât mai apropiate de datele observaţiei şi experimentului. Poziţia lui Einstein, care consideră că descrierea unei varietăţi cât mai mari de experienţe cu un număr cât mai mic de concepte de bază reprezintă ţelul fundamental al cunoaşterii teoretice, este radical opusă

orientării fizicii fenomenologice. Din acest punct de vedere, concepţiile lui Einstein asupra direcţiei de dezvoltare a cunoaşterii fizice au fost, încă de la începuturile activităţii sale ştiinţifice, net deosebite de cele ale lui Mach. Într-adevăr, deja primele sale cercetări s-au integrat acelei orientări antifenomenologice care este bine caracterizată în aliniatele ce urmează.

[71]. Acesta este programul unificării cunoaşterii fizice pe baza ideii de câmp, un program a cărui înfăptuire a constituit ţinta supremă a activităţii ştiinţifice a lui Einstein.

[72]. Einstein nu se interesează atât de interpretarea filozofică a unei ştiinţe gata făcute, cât de acele vederi filozofice care influenţează într-un fel sau altul orientarea cercetării naturii. Din acest [73]. Teoria relativităţii este descrisă aici ca o teorie de principii. Pentru caracterizarea teoriilor de principii, în opoziţie cu teoriile constructive, vezi Ce este teoria relativităţii? Şi Note autobiografice.

[74]. Einstein nu pune la îndoială câtuşi de puţin valoarea ştiinţifică a mecanicii cuantice, ca teorie fizică. El apreciază însă că mecanica cuantică reprezintă o descriere incompletă a realităţii fizice şi că nu poate din acest motiv să ofere o bază pentru unificarea cunoaşterii fizice. Pentru argumentarea acestei teze a lui Einstein, vezi îndeosebi Mecanica cuantică şi realitatea, Note autobiografice şi Observaţii asupra articolelor reunite în acest volum.

[75]. În opoziţie cu interpretarea şcolii de la Copenhaga, Einstein nu atribuie caracterul statistic al legilor teoriei cuantice în primul rând interacţiunii incontrolabile dintre microobiecte şi instalaţiile experimentale, ci împrejurării că funcţia de undă a lui Schrödinger nu descrie un sistem individual, ci o totalitate de sisteme. Tocmai în acest sens este mecanica cuantică o descriere incompletă a realităţii fizice.

[76]. Einstein subliniază că ceea ce îl opune interpretării larg acceptate a mecanicii cuantice este concepţia sa generală asupra condiţiilor descrierii teoretice a realităţii

fizice. În dispută dintre asemenea concepţii nu se poate decide prin apel la faptele experienţei şi cu atât mai puţin prin demonstraţie. Numai dezvoltarea viitoare a cunoaşterii fizice va putea arăta, până la urmă, cine are dreptate.

[77]. Pentru indicarea prin analogii a locului pe care îl va ocupa teoria statistică a cuantelor în cadrul unei teorii fizice mai cuprinzătoare, care ar permite descrierea completă a sistemelor cuantice individuale, vezi şi Mecanica cuantică şi realitatea şi Observaţii asupra articolelor reunite în acest volum.

[78]. Ultima parte a articolului este consacrată argumentării posibilităţii derivării fenomenelor cuantice din ecuaţiile unei teorii generale a câmpului, un program de cercetare căruia Einstein i-a consacrat toate forţele sale în a doua perioadă a activităţii sale ştiinţifice.

[79]. Progresul descrierii teoretice se realizează în concepţia lui Einstein prin creşterea continuă a distanţei dintre principii şi consecinţele ce pot fi confruntate cu datele de observaţie. Pe măsură ce înaintăm spre o descriere teoretică cu o bază logică mai simplă se adânceşte „prăpastia logică „dintre principii şi datele experienţei. Pentru expunerea reprezentării lui Einstein asupra sensului dezvoltării istorice a fizicii teoretice, vezi Despre metoda fizicii teoretice.

[80]. Înţelegerea tendinţei istorice de dezvoltare a cunoaşterii fizice are, după părerea autorului, o însemnătate esenţială pentru clarificarea stării actuale a teoriei şi indicarea căilor dezvoltării ei viitoare. Consideraţiile principiale formulate de Einstein în acest text, ca şi în alte scrieri consacrate acestei teme, sunt aşadar subordonate fundamentării unei anumite orientări strategice a cercetării.

[81]. Einstein pare să aibă în vedere că trăirile senzoriale reprezintă „obiectul ce ne este dat „în sensul că ele sunt determinate de natura stimulilor, de structura sistemului nostru nervos şi de o anumită programare a sistemului

nervos care este rezultatul învăţării individuale. Experienţele senzoriale se constituie aşadar prin procese mai mult sau mai puţin automate, incoştiente. Dimpotrivă, teoriile ştiinţifice sunt produsul activităţii conştiente a cercetătorilor. Se lasă să se înţeleagă că cercetători ale căror experienţe senzoriale nu diferă în mod esenţial pot să le „interpreteze „foarte diferit, dacă le raportează la teorii incompatibile.

[82]. Einstein se delimitează aici, ca şi în alte texte, de punctul de vedere curent, potrivit căruia noţiunile cunoaşterii comune se constituie pornind de la informaţii despre obiecte, însuşiri şi relaţii particulare, prin abstractizare şi generalizare, adică comparând aceste informaţii, lăsând la o parte ceea ce este specific, diferit şi reţinând ceea ce este comun. El subliniază cu insistenţă că toate noţiunile, atât noţiunile gândirii comune, cât şi cele ale ştiinţei, sunt creaţii ale gândirii omeneşti, produse ale unei activităţi imaginative şi constructive şi nu rezultate ale unor demersuri logice. Acest punct de vedere reprezintă unul din elementele cele mai originale ale concepţiei lui Einstein despre cunoaştere, care o detaşează atât de concepţia inductivistă curentă, cât şi de realismul simţului comun. Într-o scrisoare din 15 iunie 1950 Einstein observă că el subliniază distincţia dintre „trăiri senzoriale „şi „noţiuni „care i se pare banală, „pentru a arăta că alegerea liberă a elementelor constructive inteligibile postulate în mod liber şi imposibil de dedus în mod empiric nu începe în ştiinţa propriu-zisă, ci aparţine vieţii intelectuale de toate zilele „. (A. Einstein, M. Besso, Op. Cât, p. 263). Într-o altă scrisoare din 20 martie 1952 către acelaşi Besso, Einstein încearcă să explice consideraţiile sale sumare pe această temă din Notele autobiografice, propunând un exemplu: noţiunea de număr, ca noţiune a gândirii comune, nu este abstrasă din experienţă, cum crede, de exemplu, J. S. Mill, ci reprezintă o creaţie a minţii omeneşti care a fost selecţionată şi păstrată datorită capacităţii sale de a

coordona experienţele noastre. Einstein conchide: „drumul ce duce de la particular la general este unul intuitiv, cel ce duce de la general la [83]. Este îndoielnic că o asemenea caracterizare a domeniului cunoaşterii fizice ar mai putea fi acceptată în zilele noastre. Unele determinări ale fenomenelor biologice şi sociale au putut fi măsurate. Au fost de asemenea elaborate teorii şi modele matematice utile ale unor procese biologice şi sociale. Asemenea rezultate nu aparţin totuşi fizicii, ci ştiinţelor biologice sau sociale. Domeniul ştiinţei fizice nu poate fi delimitat exclusiv prin metodă, prin caracteristici generale ale demersurilor cercetării, cum afirmă aici Einstein.

[84]. Vorbind în general de cercetător, Einstein nu are, desigur, în vedere aici pe toţi oamenii care şi-au consacrat talentul şi forţele studiului naturii. El se gândeşte în primul rând la acei cercetători a căror activitate crede că a ilustrat cel mai bine acest ideal de cunoaştere, cei pe care i-a admirat în mod deosebit, personalităţi creatoare că Newton, Faraday, Maxwell sau Lorentz. Einstein se simţea străin de acei fizicieni reprezentativi din generaţia sa care nu vedeau în unificarea cercetării fizice ţelul fundamental al activităţii lor teoretice. El s-a explicat de nenumărate ori în această privinţă, îndeosebi atunci când s-a referit, cum va face doar aluziv în partea finală a acestui text, la ceea ce îl desparte de susţinătorii „interpretării ortodoxe „a mecanicii cuantice.

[85]. Pentru consideraţii asemănătoare, cu remarcabile deosebiri în nuanţe, vezi şi Notele autobiografice, mai ales pasajul consacrat caracterizării generale a situaţiei din fizică la sfârşitul secolului al XIX-lea, când autorul şi-a încheiat studiile şi a făcut primii paşi spre o activitate de cercetare independentă.

[86]. Einstein admite că faptele cunoscute atunci în fizica atomică sunt compatibile cu două interpretări care decurg din reprezentări diferite asupra obiectivelor cercetării teoretice. Potrivit primei interpretări, descrierea teoretică,

în măsura în care nu urmăreşte decât prevederea şi explicarea rezultatelor experimentelor, va fi una ireductibil statistică. A doua interpretare porneşte, dimpotrivă, de la premisa că teoria fizică trebuie să ofere o descriere a realităţii în spaţiu şi timp şi conduce la concluzia că legile mecanicii cuantice vor trebui deduse drept consecinţe din ecuaţiile unei teorii generale a câmpului. În opoziţie cu marea majoritate a fizicienilor contemporani, Einstein a susţinut cu consecvenţă cea de-a doua interpretare apreciind că dezvoltarea viitoare a cunoaşterii fizice va fi în măsură să determine dacă această opţiune s-a dovedit sau nu fertilă. Einstein lasă clar să se înţeleagă că orientarea strategică a cercetării fizice depinde în mod hotărâtor de idealul de cunoaştere pe care îl adoptă teoreticienii.